



TESIS - RG142509

**STUDI TENTANG DAERAH IMBUHAN DI
CEKUNGAN AIR TANAH DENGAN METODE
PENGINDERAAN JAUH MENGGUNAKAN CITRA
SATELIT LANDSAT DAN SISTEM INFORMASI
GEOGRAFIS (SIG)
(Studi Kasus : Kabupaten Pasuruan)**

ISNIYATUS SHOLIKHAH
NRP 3512201008

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Muhammad Taufik.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK GEOMATIKA
JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - RG142509

**STUDY OF THE RECHARGE AREA ON WATER
BASIN SOIL WITH REMOTE SENSING METHOD
USING SATELLITE IMAGERY LANDSAT AND
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS)
(Case Study : Pasuruan District)**

ISNIYATUS SHOLIKHAH
NRP 3512201008

SUPERVISOR
Dr. Ir. Muhammad Taufik.

MASTER PROGRAM
EXPERTISE STUDY OF GEOMATICS
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar
Magister Teknik (MT)
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :
Isniyatus Sholikhah
Nrp. 3512 201 008

Tanggal Ujian : 18 Juli 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh :



1. Dr. Ir. Muhammad Taufik
NIP: 19550919 198603 1001

(Pembimbing I)



2. Ira Mutiara A.S.T., M. Phil, Ph. D
NIP: 19781231 200212 2001

(Penguji I)

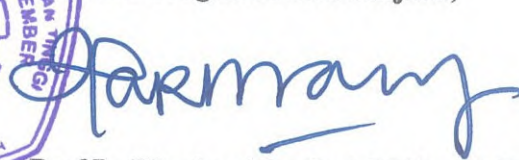


3. M. Nur Cahyadi, ST, M.Sc., D.Sc.
NIP: 19811223 200501 1002

(Penguji II)



Direktur Program Pasca Sarjana,



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

**STUDI TENTANG DAERAH IMBUHAN DI CEKUNGAN AIR
TANAH DENGAN METODE PENGINDERAAN JAUH
MENGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT DAN SISTEM
INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)
(Studi Kasus : Kabupaten Pasuruan)**

Nama Mahasiswa : Isniyatus Sholikhah
NRP : 3512 201 008
Pembimbing : Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRAK

Air merupakan Sumber Daya Alam yang sangat hakiki untuk kehidupan mahluk hidup dan lingkungan. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, akan meningkatkan kebutuhan air. dan berkurangnya lahan bebas / ruang terbuka hijau untuk proses pembentukan air tanah. Dengan mempertimbangkan aspek konservasi air tanah maka perlu adanya kajian terkait dengan studi daerah imbuhan di Cekungan Air Tanah Pasuruan.

Pada penelitian ini untuk mengetahui kondisi daerah imbuhan di Cekungan Air Tanah Pasuruan dari tahun 2003 dan 2014 . Sehingga akan diketahui perubahan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan di daerah imbuhan yang dapat mempengaruhi proses infiltrasi dalam rangka konservasi sumber daya air di CAT Pasuruan. Dari perubahan tersebut maka dapat diketahui prediksi ke depan kondisi daerah imbuhan di CAT Pasuruan. Penelitian ini menggunakan metode Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*) dengan menggunakan citra satelit Landsat dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Studi penentuan daerah imbuhan dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu litologi, curah hujan, dan kelerengan lahan. Hasil pengolahan didapatkan perubahan kerapatan vegetasi pada daerah imbuhan tahun 2003-2014, kerapatan vegetasi rapat mengalami penurunan sebesar 4330,89 Ha, sehingga perubahan kerapatan vegetasi rapat pada tahun 2025 diprediksikan menjadi 52305,39 Ha dan tahun 2030 menjadi 52176,78 Ha.

Sedangkan perubahan tutupan lahan (*Land Cover*) menghasilkan perubahan tutupan lahan hutan mengalami peningkatan sebesar 569,88 Ha, sehingga perubahan tutupan lahan hutan pada tahun 2025 diprediksikan menjadi 37563,88 Ha dan tahun 2030 menjadi 38720,494 Ha.

Hubungan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan pada daerah imbuhan dari tahun 2003-2014 didapatkan kerapatan vegetasi rapat yang mengalami kenaikan luas, yaitu pada tutupan lahan kebun sebesar 1144,80 Ha, hutan sebesar 943,02 Ha, tutupan lahan pemukiman sebesar 947,79 Ha dan Tanah kosong sebesar 262,53 Ha, Dan mengalami peningkatan dengan kerapatan vegetasi rendah yaitu ladang sebesar 943,02Ha, dan tanah kosong sebesar 277,47 Ha. Vegetasi tutupan lahan yang mendominasi di seluruh daerah imbuhan dengan vegetasi pohon mahoni, dan pohon sengon.

Kata kunci : Daerah Imbuhan, CAT Pasuruan, *Remote Sensing*.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

**STUDY OF THE RECHARGE AREA ON WATER BASIN SOIL
WITH REMOTE SENSING METHOD USING SATELLITE
IMAGERY LANDSAT AND GEOGRAPHIC INFORMATION
SYSTEMS (GIS)
(Case Study : Pasuruan District)**

By : Isniyatus Sholikhah
Student Identity Number : 3512 201 008
Supervisor : Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRACT

Water is natural resources that is very essential for living creatures and the environment. Along with the increase of population , will increase the water demand and reduce the area of free land / open green space for the formation of ground water. By considering soil water conservation aspects, it is necessary to conduct a study of the recharge area on water basin soil in Pasuruan.

This study was to determine the condition of the recharge area in the Basin Groundwater Pasuruan in 2003 and 2014. So it will be known the changes of the vegetations density and land cover in the recharge area that can affect infiltration process in order to conserve water resources in CAT Pasuruan. From these changes it would be able to make the prediction of future conditions in the recharge area in CAT Pasuruan. This study uses Remote Sensing using Satellite imagery Landsat and Geographic Information System (GIS). Studies to determine the recharge area is influenced by several parameters, that is slope of land, lithology and Rainfall. Processing results obtained vegetation density changes of the recharge area in 2003-2014, high vegetation density decreased by 4330,89 Ha, so that changes in the high vegetation density in 2025 is predicted to be 52305,39 Ha and become 52176,78 Ha in 2030.

While land cover changes produce changes in forest land cover increased by 569,88 Ha , so that changes in forest land cover in 2025 is predicted to be 37563,88 Ha and became 38720,494 Ha in 2030.

The relationship between vegetation density and land cover of the recharge area in 2003 - 2014 obtained high vegetation density that experienced an increase area, which is on garden land cover amounting to 1144,80 Ha, 943,02 Ha of forest, 947,79 Ha of settlements land cover and 262,53 Ha of vacant land. And that experienced an increase with low vegetation density are the fields amounting to 943,02 Ha and 277,47 Ha of vacant land. Land cover vegetations that dominates throughout the recharge area is a mahogany tree vegetation, and sengon.

Keywords : *Recharge Area, CAT Pasuruan, Remote Sensing.*

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Tanah.....	7
2.2 Cekungan Air Tanah (CAT).....	8
2.3 Kriteria Cekungan Air Tanah (CAT)	9
2.4 Sifat Batuan Terhadap Air Tanah	10
2.5 Jenis-Jenis Akuifer	10
2.6 Batas Cekungan Air Tanah (CAT)	11
2.7 Proses Hidrogeologi Cekungan Air Tanah (CAT)	12
2.8 Media Pengisian Air Tanah.....	13
2.9 Batas Daerah Imbuhan Air Tanah dan Daerah Lepas Air Tanah	13
2.10 Parameter yang Mempengaruhi Daerah Imbuhan	16
2.10.1 Litologi	16
2.10.2 Kemiringan Lahan (Morfologi)	19

2.10.3 Curah Hujan	20
2.11 Penentuan Daerah Imbuhan	20
2.12 Penginderaan Jauh.....	21
2.10.1 Definisi Penginderaan Jauh.....	21
2.10.2 Teknik Penginderaan Jauh.....	21
2.13 Satelit Landsat 7 ETM+	24
2.14 Pengolahan Citra	27
2.14.1 Koreksi Geometrik	27
2.14.2 Rektifikasi.....	28
2.14.3 Strength of Figure (SoF).....	29
2.14.3 Ground Control Point (GCP)	29
2.14.4 Ketelitian Koreksi Geometrik.....	30
2.14.6 Koreksi Radiometrik	30
2.14.7 Klasifikasi Citra.....	32
2.15 Sistem Informasi Geografis (SIG)	33
2.16 Indeks vegetasi.....	34
2.17 Hubungan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan pada daerah imbuhan di CAT Pasuruan	36
2.18 Regresi Linier	37
2.19 Gambaran Umum CAT Pasuruan	39
2.19.1 Iklim dan Curah Hujan	39
2.19.2 Morfologi	40
2.19.3 Geologi	41
2.20 Penentuan Daerah Imbuhan CAT Pasuruan	43
2.21 Penelitian Terdahulu	48

BAB 3 METODA PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian.....	51
3.2 Alat dan Data	52
3.2.1 Peralatan	52
3.2.2 Data	52
3.3 Metodologi Penelitian	52

3.3.1 Tahapan Penelitian	52
3.3.2 Tahapan Pengolahan Data	55
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Penentuan Daerah Imbuhan CAT Pasuruan	
4.1.1 Penentuan Daerah Imbuhan	59
4.1.2 Uji Validasi Daerah Imbuhan	60
4.2 Hasil Pengolahan Citra	62
4.2.1 Koreksi Geometrik	62
4.2.1.1.1 Perhitungan Kekuatan Jaring Titik Kontrol	62
4.2.1.1.2 Penentuan titik kontrol dan nilai RMS Error	63
4.2.2 Koreksi Radiometrik	64
4.2.3 Pemotongan Citra	66
4.2.4 Indeks Vegetasi	66
4.2.5 Tutupan Lahan	70
4.2.6 Analisa Perubahan Daerah Imbuhan	74
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Landsat 7 ETM+	25
Tabel 2.2	Band-band pada landsat-TM dan kegunaannya	26
Tabel 2.3	Pemberian Skor Untuk Parameter Morfologi.....	44
Tabel 2.4	Korelasi satuan litostratigrafi dan satuan hidrostratigrafi.....	45
Tabel 2.5	Skala intensitas untuk parameter litologi.....	46
Tabel 2.6	Pemberian Skor Untuk Parameter Curah Hujan.....	47
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan RMS Error Pada Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2003.....	62
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan RMS Error Pada Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2014.....	63
Tabel 4.3	Parameter Citra Landsat 7 ETM+ Tanggal 22 Mei 2003.....	65
Tabel 4.4	Parameter Citra Landsat 8 Tanggal 01 September 2014.....	65
Tabel 4.5	Kisaran Tingkat Kerapatan NDVI.....	67
Tabel 4.6	Tabel Hasil Klasifikasi Kerapatan Vegetasi Tahun 2003 dan Tahun 2014 Pada Daerah Imbuhan.....	68
Tabel 4.7	Perubahan Luas Tutupan Lahan Daerah Imbuhan Tahun 2003-2014.....	73
Tabel 4.8	Kerapatan Vegetasi Pada Tutupan Lahan Daerah Imbuhan Pada Tahun 2003.....	74
Tabel 4.9	Kerapatan Vegetasi Pada Tutupan Lahan Daerah Imbuhan Pada Tahun 2014.....	75
Tabel 4.10	Hubungan Kerapatan Vegetasi Pada Tutupan Lahan Daerah Imbuhan Pada Tahun 2003 – 2014.....	76

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus Hidrologi	8
Gambar 2.2	Potongan CAT Dari Daerah Tangkapan Dan Lepas.....	9
Gambar 2.3	Sistem Penginderaan Jauh.....	22
Gambar 2.4	Grafik Persamaan Linier dan Non Linier	38
Gambar 2.5	Peta Kemiringan Lahan CAT Pasuruan.....	44
Gambar 2.6	Peta Geologi CAT Pasuruan	46
Gambar 2.7	Peta Curah Hujan CAT Pasuruan.....	47
Gambar 2.8	Diagram Proses Overlay Weighted Sum Penentuan Daerah Imbuhan	48
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian	51
Gambar 3.2	Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	53
Gambar 3.3	Diagram Alir Pengolahan Data	57
Gambar 4.1	Hasil Analisa Klasifikasi Daerah imbuhan dan Daerah Lepas CAT Pasuruan	59
Gambar 4.2	Peta Daerah imbuhan CAT Pasuruan	60
Gambar 4.3	Peta Validasi Hasil Penentuan Daerah Imbuhan.....	61
Gambar 4.4	Desain Jaring Titik Kontrol Citra Landsat 7 ETM+	62
Gambar 4.5	Desain Jaring Titik Kontrol Citra Landsat 8	62
Gambar 4.6	Hasil Pemotongan Citra Landsat Tahun 2003 (a) dan Tahun 2014 (b) Daerah CAT Pasuruan Sesuai Batas Administrasi Kabupaten Pasuruan.....	66
Gambar 4.7	Hasil Pemotongan Citra Landsat Tahun 2003 (a) dan Tahun 2014 (b) Sesuai Batas Daerah Imbuhan Dari Hasil Pengolahan	66
Gambar 4.8	Nilai NDVI pada Citra Landsat Tahun 2003 (a) dan Tahun 2014(b)	67
Gambar 4.9	Luas Kerapatan Vegetasi Daerah Imbuhan CAT Pasuruan Tahun 2003-2014	68
Gambar 4.10	Peta Kerapatan Vegetetasi Daerah Imbuhan Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2003.....	69

Gambar 4.11	Peta Kerapatan Vegetasi Daerah Imbuhan Citra Landsat 8 Tahun 2014	70
Gambar 4.12	Peta Tutupan Lahan CAT Pasuruan Tahun 2003 (a) dan Tahun 2014 (b).....	71
Gambar 4.13	Luas Tutupan Lahan Dearah Imbuhan Tahun 2003-2014 Berdasarkan Klasifikasi Citra	71
Gambar 4.14	Peta Tutupan Lahan Daerah Imbuhan CAT Pasuruan Tahun 2003	72
Gambar 4.15	Peta Tutupan Lahan Daerah Imbuhan CAT Pasuruan Tahun 2014	72

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perhitungan SOF (*Strength of Figure*)
- Lampiran 2 Hasil *Confusion Matrix* Tutupan Lahan Tahun 2003 dan Tahun 2014
- Lampiran 3 Hasil *Ground Truth* Tutupan Lahan
- Lampiran 4 Daerah Imbuhan CAT Pasuruan
- Lampiran 5 Peta Kerapatan Vegetasi Daerah Imbuhan CAT Pasuruan
- Lampiran 6 Peta Tutupan Lahan Daerah Imbuhan CAT Pasuruan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya alam yang sangat hakiki bagi kehidupan mahluk hidup dan lingkungan, termasuk seluruh rakyat Indonesia. Dalam Pasal 33 ayat 3 UUD 1945 diamanatkan bahwa *penguasaan atas bumi, air, dan ruang angkasa, serta kekayaan yang terkandung di dalamnya itu untuk dipergunakan sebesar-besarnya demi kemakmuran rakyat*. Dan sehingga untuk mewujudkannya, air perlu ditata penggunaannya agar dapat mewujudkan kesejahteraan bagi seluruh rakyat Indonesia dalam segala bidang.

Keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan baik secara kuantitas maupun kualitas terhadap air tanah yang semakin kritis dan perlu mendapatkan perhatian semua pihak. Kesemuanya itu disebabkan karena pertumbuhan penduduk Indonesia yang sangat tinggi, peningkatan ekonomi, dan industri yang semakin tinggi menjadikan kebutuhan air semakin meningkat. Pemanfaatan air tanah menjadi solusi untuk pemenuhan kebutuhan tersebut. Hal ini berdampak pada keberadaan air tanah yang semakin berkurang. Selain itu pembangunan yang menyebabkan timbulnya polusi serta berkurangnya lahan bebas/ ruang terbuka hijau untuk proses pembentukan air tanah. Kondisi ini hampir terjadi diseluruh wilayah Indonesia tidak terkecuali di Jawa Timur.

Menurut Danaryanto et al., 2005, Cekungan Air Tanah (CAT) di Indonesia secara umum terdiri atas akuifer bebas atau tak-tertekan dan akuifer tertekan. CAT tersebut tersebar di seluruh wilayah Indonesia dengan potensi pada CAT akuifer bebas yakni 496.217 juta m³ / tahun dan CAT akuifer tertekan yakni 20.906 juta m³ / tahun. Pulau Jawa sendiri terdapat 80 CAT dengan luas total 81,147 km² dengan potensi air tanah

pada akuifer bebas sebesar 38,851 juta m³ / tahun dan akuifer tertekan sebesar 2,046 juta m³ / tahun.

Sesuai Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor : 716 K/40/Mem/2003 Tentang Batas Horisontal Cekungan Air Tanah Di Pulau Jawa Dan Pulau Madura, di wilayah Provinsi Jawa Timur terdapat 23 Cekungan Air Tanah (CAT) yang terdiri dari 6 cekungan dalam wilayah Kabupaten/ Kota, 13 cekungan lintas wilayah Kabupaten/ Kota, dan 4 cekungan lintas wilayah Propinsi.

Dari identifikasi cekungan air tanah di wilayah Pulau Jawa dan Pulau Madura menunjukkan bahwa dari 80 cekungan air tanah di wilayah tersebut, 53 cekungan air tanah atau 71% berada lintas Kabupaten/ Kota dan 8 (delapan) cekungan air tanah berada lintas Propinsi. Dan dari salah satu dari beberapa CAT lintas kabupaten / kota tersebut adalah Cekungan Air Tanah (CAT) Pasuruan.

CAT Pasuruan memiliki luas 1.596 km dengan perkiraan potensi air tanah bebas sebesar 628 juta m³ / tahun dan 43 juta m³ / tahun potensi air tanah tertekan. CAT Pasuruan mencakup 4 (empat) wilayah administrasi yaitu Kabupaten Pasuruan, Kota Pasuruan, Kabupaten Mojokerto, dan Kabupaten Probolinggo. Dari sekian banyak CAT di Jawa Timur, CAT Pasuruan merupakan cekungan yang paling banyak dieksploitasi.

Sebaran pemanfaatan air tanah pada CAT Pasuruan oleh berbagai kegiatan cenderung terfokus pada wilayah yang tersedia dukungan infrastruktur transportasi. Selain itu perkembangan saai ini mengarah pada bagian wilayah yang secara hidrogeologis merupakan daerah imbuhan. Kondisi ini dapat dilihat dari pertumbuhan industri lereng Gunung Arjuno – Welirang dan lereng Gunung Tengger. Pada sisi lain di wilayah CAT Pasuruan ini banyak dijumpai penambangan pasir batu dan batu andesit untuk bahan agregat, yang dapat diperkirakan dapat menurunkan resapan

air tanah dan menurunkan muka air tanah, apabila penambangan dilakukan dengan teknik yang tidak benar.

Air tanah termasuk sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable*), namun untuk pembaharuannya membutuhkan waktu geologi relatif lama yang bergantung oleh berbagai aspek, antara lain : kondisi geologi daerah resapan, iklim, karakteristik batuan, akuifer sebagai penyimpan air. Oleh karena itu perlu ada upaya memelihara keberadaannya secara berkelanjutan untuk menjamin keadaan, sifat dan fungsi air tanah agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang. Hal ini sejalan dengan kebijakan pembangunan yang ditetapkan pemerintah terkait dengan sumber daya air, telah tertuang dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2004 dan Undang-Undang No 43 Tahun 2008 bahwa Sumber daya air termasuk didalamnya air tanah dikelola secara menyeluruh, terpadu, dan berwawasan lingkungan hidup dengan tujuan mewujudkan kemanfaatan sumber daya air yang berkelanjutan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat.

Dengan mempertimbangkan aspek konservasi air tanah maka perlu untuk melakukan kajian terkait dengan studi daerah imbuhan di CAT Pasuruan. Kegiatan ini nantinya diharapkan dapat memberikan masukan bagi pihak-pihak terkait dengan pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya air tanah untuk meningkatkan pengembangan pemanfaatan dan konservasi sumber daya air dalam rangka tercapai optimalisasi peruntukannya dan kelestariannya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan diatas, maka perumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menentukan daerah imbuhan pada CAT Pasuruan ?
2. Bagaimana perubahan daerah imbuhan di pada CAT Pasuruan?
3. Bagaimana prediksi ke depan daerah imbuhan dengan mengacu pada hasil pengolahan daerah imbuhan di CAT Pasuruan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Daerah penelitian yaitu wilayah CAT Pasuruan dengan batas administrasi Kabupaten Pasuruan.
2. Metode yang digunakan adalah dengan teknik penginderaan jauh dengan menggunakan dan Sistem Informasi Geografis (SIG)
3. Citra yang digunakan adalah Data citra satelit Landsat Tahun 2003 dan Tahun 2013 .
4. Penentuan daerah imbuhan di CAT Pasuruan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi litologi, curah hujan, dan kelerengan lahan.
5. Konservasi sumber daya air di daerah imbuhan pada proses infiltrasi dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi dan tutupan lahan.

1.4 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menentukan daerah imbuhan dan memetakan kondisi daerah imbuhan di CAT Pasuruan dengan menggunakan metode citra satelit Landsat dan Sistem Informasi Geografis (SIG).
2. Untuk mengetahui perubahan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan di daerah imbuhan yang dapat mempengaruhi proses infiltrasi dalam rangka konservasi sumber daya air di CAT Pasuruan.
3. Untuk mengetahui prediksi ke depan perubahan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan di daerah imbuhan di CAT Pasuruan.

1.4 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat penulisan dari penelitian ini yaitu untuk memberikan masukan bagi pihak terkait dalam rangka pengelolaan, pemanfaatan, kelestarian sumber daya air, dalam hal sebagai berikut :

1. Informasi kondisi daerah imbuhan di CAT Pasuruan.
2. Informasi perubahan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan di daerah imbuhan yang dapat mempengaruhi proses infiltrasi dalam rangka konservasi sumber daya air CAT Pasuruan.
3. Informasi prediksi ke depan perubahan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan di daerah imbuhan di CAT Pasuruan.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Tanah

Air tanah merupakan bagian air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air). Air tanah adalah air yang bergerak di dalam tanah yang terdapat di dalam ruang antar butir-butir tanah yang meresap ke dalam tanah dan bergabung membentuk lapisan tanah yang disebut akuifer. Lapisan yang mudah dilalui air tanah disebut lapisan permeable, seperti lapisan pada pasir atau kerikil, sedangkan lapisan yang sulit dilalui air tanah disebut lapisan impermeable, seperti lapisan lempung atau geluh, dan lapisan yang dapat menangkap dan meloloskan air disebut akuifer. (Herlambang, 1996).

Semua air yang berada dibawah permukaan bumi (tanah), dikelompokkan sebagai air tanah. Dalam daur hidrologi, Nampak bahwa air tanah hanya menempati 0,62 % saja dari seluruh air tawar yang ada. Sehingga air tanah merupakan salah satu sumber daya air yang keberadaannya terbatas dan kerusakannya dapat mengakibatkan dampak yang luas serta pemulihannya sulit dilakukan. Air tanah memiliki peranan yang penting selain air sungai dan air hujan, hal ini karena air tanah dapat menjaga keseimbangan dan ketersediaan bahan baku air untuk kebutuhan rumah tangga atau kebutuhan industri.

Air tanah menerima pemasukan air (*recharge*) dari air yang jatuh diatas permukaan bumi melalui proses infiltrasi yang kemudian bergerak mengalir memasuki batuan dan lapisan tanah, sampai keluar lagi sebagai sumber-sumber air (*discharge*) dan kembali ke permukaan sebagai sungai atau tertahan sementara sebagai danau atau dirawa-rawa. Banyaknya air yang masuk ke dalam tanah sangat bergantung pada sifat, keadaan dan jenis bantuan setempat, jumlah vegetasi di daerah tangkapan air, bentuk betang alam dan banyaknya air yang jatuh ke bumi sebagai curah hujan, salju dan lain sebagainya (Noor, 2011). Pergerakan air tanah secara ilmiah disebut dengan siklus hidrologi, yang ditunjukkan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

Air tanah meskipun termasuk dalam sumber daya alam yang dapat diperbarui, namun proses pembentukannya memerlukan waktu yang lama, mencapai puluhan tahun hingga ribuan tahun. Konsep air tanah sebagai sumber daya terbarukan didasarkan pada proses alami, yaitu adanya siklus pada sistem akuifer: aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) ataupun imbuhan (*recharge*) dan luah (*discharge*).

Sedangkan konsep air tanah sebagai sumber daya tak terbarukan adalah konsep periode pengisian ulang air tanah yang sangat lama, antara 100 – 1.000 tahun. Periode tersebut sangat panjang dibandingkan dengan aktivitas manusia pada umumnya.

Air tanah sebagai sumber daya terbarukan atau tak terbarukan tergantung pada jarak daerah imbuhan akuifer terhadap luasan sistem akuifer atau waktu tempuh aliran air tanah hingga mencapai dan mengisi ulang akuifer tersebut.

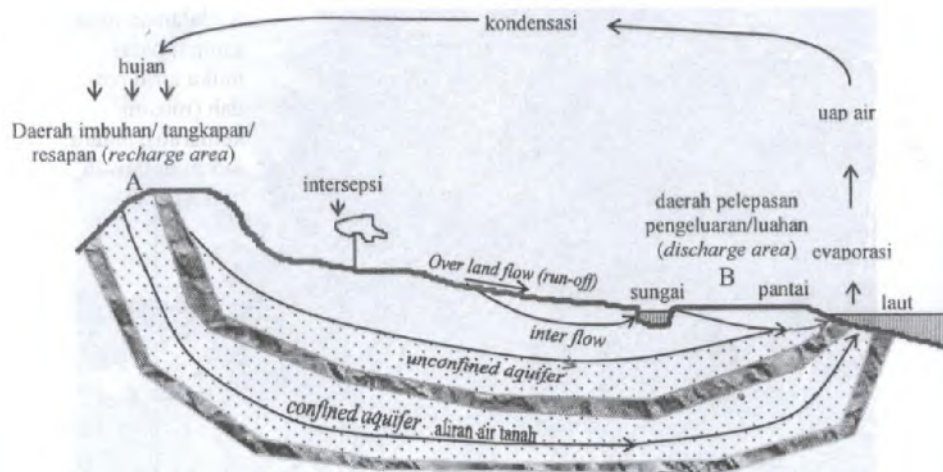
2.2 Cekungan Air Tanah (CAT)

Cekungan Air Tanah adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, tempat semua kejadian hidrogeologis seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air). Yang dimaksud

batasan adalah akibat dari kondisi geologi bawah permukaan, seperti zona sesar, lipatan, dan kemiringan lapisan batuan.

Cekungan air tanah tidak mengenal batas administrasi suatu wilayah, Sesuai Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor : 716 K/40/Mem/2003 Tentang, di wilayah Provinsi Jawa Timur terdapat 23 CAT yang terdiri dari 6 cekungan dalam wilayah Kabupaten/ Kota, 13 cekungan lintas wilayah Kabupaten/ Kota, dan 4 cekungan lintas wilayah Propinsi.

CAT berada di daratan dengan pelampiran dapat sampai dibawah dasar laut. Akuifer dan akuitard memanjang secara vertical dan horizontal dengan batas tertentu. Batas vertical suatu akuifer ditentukan oleh kondisi *stratigraphy* dan *geohistoric* lapisan, sedangkan batas horizontal dikontrol berdasarkan *sedimentary* dan *geostructural* lapisan-lapisan tersebut. Potongan melintang CAT ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Potongan CAT Dari Daerah Tangkapan Dan Lepasan

2.3 Kriteria Cekungan Air Tanah (CAT)

Kriteria Cekungan Air Tanah berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 2008, adalah sebagai berikut:

- a. Mempunyai batas hidrogeologis yang dikontrol oleh kondisi geologis dan/atau kondisi hidraulik air tanah. Batas hidrogeologis adalah batas fisik wilayah pengelolaan air tanah. Batas hidrogeologis dapat berupa

batas antara batuan lulus dan tidak lulus air, batas pemisah air tanah, dan batas yang terbentuk oleh struktur geologi, yang meliputi kemiringan lapisan batuan, lipatan dan patahan.

- b. Mempunyai daerah imbuhan dan daerah lepasan air tanah dalam satu sistem pembentukan air tanah
- c. Memiliki satu kesatuan sistem akuifer. Akuifer dapat berada pada kondisi tidak tertekan atau bebas (*unconfined*) dan atau tertekan (*confined*)

2.4 Sifat Batuan Terhadap Air Tanah

Ditinjau dari sifat dan perilaku batuan terhadap air tanah terutama sifat fisik, struktur dan tekstur maka batuan dapat dibedakan kedalam 4 (empat) macam, yaitu :

- a. Akuifer adalah lapisan batuan yang mempunyai susunan sedemikian rupa sehingga dapat menyimpan dan mengalirkan air tanah yang cukup berarti seperti batu pasir, dan batugamping
- b. Akuikud adalah lapisan batuan yang dapat menyimpan air akan tetapi tidak dapat mengalirkan air tanah dalam jumlah yang cukup berarti seperti lempung, shale, tuf halus
- c. Akuitar adalah lapisan batuan yang dapat menyimpan air tetapi hanya dapat mengalirkan air tanah dalam jumlah yang sangat terbatas seperti basal scoria, serpih, napal, dan batulempung
- d. Akuiflug adalah lapisan batuan yang tidak dapat menyimpan dan mengalirkan air tanah seperti batuan beku dan batuan metamorf dan walaupun ada air pada lapisan batuan tersebut hanya terdapat pada kekar atau rekahan batuan saja.

2.5 Jenis-jenis akuifer

Lapisan yang dapat menangkap dan meloloskan air disebut akuifer. Sedangkan menurut Kodoatie (1996), akuifer adalah suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi batuan atau geologi yang lulus air baik yang terkonsolidasi (misal batu pasir) maupun yang tidak terkonsolidasi (pasir lepas) dengan kondisi

jenuh air dan mempunyai suatu besaran Kehantaran Hidraulik (K) sehingga dapat membawa air. (air dapat diambil) dalam jumlah yang ekonomis.

Menurut Krussman dan Ridder (1970) dalam Utaya (1990) bahwa macam-macam akuifer adalah sebagai berikut:

- a. Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*) yaitu lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air. Permukaan tanah pada akuifer ini disebut dengan water table (preatik level), yaitu permukaan air yang mempunyai tekanan hidrostatik sama dengan atmosfer.
- b. Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*) yaitu akuifer yang seluruhnya terisi air yang dibatasi oleh lapisan kedap air, baik yang di atas maupun di bawah, serta mempunyai tekanan jenuh lebih besar daripada tekanan atmosfer.
- c. Akuifer Semi tertekan (*Semi Confined Aquifer*) yaitu akuifer yang seluruhnya jenuh air, dimana bagian atasnya dibatasi oleh lapisan semi lolos air sedangkan dibagian bawahnya merupakan lapisan kedap air.
- d. Akuifer Semi Bebas (*Semi Unconfined Aquifer*) yaitu akuifer yang bagian bawahnya yang merupakan lapisan kedap air, sedangkan bagian atasnya merupakan material berbutir halus, sehingga pada lapisan penutupnya masih memungkinkan adanya gerakan air. Dengan demikian akuifer ini merupakan peralihan antara akuifer bebas dengan akuifer semi tertekan.

2.6 Batas Cekungan Air Tanah (CAT)

Batas secara struktur geologi merupakan batas yang terjadi akibat zona sesar, adanya kemiringan lapisan batuan, adanya lipatan, adanya aktifitas magmatisme, dan adanya zona proses mineralisasi.

Batas secara hidrologi merupakan batas yang tidak tetap, misalnya batas permukaan air laut, danau, waduk, dan daerah aliran sungai. Hal ini sering mengalami perubahan karena kondisi topografi dan kondisi pengaruh pasang surut air laut. Jadi, batas cekungan air tanah dipengaruhi oleh kondisi hidrologi, kondisi geologi, serta pengaruh pasang surut air laut.

2.7 Proses Hidrogeologi Cekungan Air Tanah (CAT)

Proses hidrogeologi dalam cekungan yaitu proses resapan, proses aliran air tanah, dan pelepasan air tanah. Proses resapan terjadi di daerah hulu atau yang disebut daerah imbuhan. Daerah imbuhan (*recharge area*) adalah daerah resapan air yang mampu menambah air tanah secara alami pada CAT. Daerah tangkapan/imbuhan biasanya pada daerah yang lebih tinggi seperti di bukit dan di pegunungan. Daerah resapan sebagai bagian dari suatu daerah aliran dimana aliran air tanah menjauhi muka air tanah. Daerah resapan terbentuk karena adanya pengaruh dari siklus hidrologi di permukaan bumi mulai dari proses pada air permukaan sampai terbentuknya mata air.

Proses aliran air tanah terjadi pada morfologi dataran rendah. Jadi air tanah mengalir menuju tempat yang lebih rendah. Hal ini juga dipengaruhi oleh struktur geologi yang ada pada daerah tersebut.

Proses pelepasan air tanah terjadi pada daerah pelepasan air atau yang disebut daerah lepasan (*discharge*) pada daerah yang lebih rendah seperti pada daerah pantai dan lembah sungai. Daerah lepasan sebagai bagian dari suatu aliran air tanah yang menuju muka air tanah.

Proses pelepasan air tanah merupakan bagian dari batas cekungan air. Apakah batuan pada batas cekungan air tanah memiliki permeabilitas yang baik atau tidak, karena air tanah akan tertahan bila batuan bersifat akuiklud (suatu lapisan jenuh air, tetapi relatif kedap air yang tidak dapat melepaskan airnya dalam jumlah berarti, misalnya lempung) dan akan mengalir lambat pada batuan yang bersifat akuifug (lapisan batuan yang relatif kedap air, yang tidak mengandung ataupun dapat dilewati oleh air, misalnya batuan beku). Batu gamping yang telah cukup mengalami pelapukan dan mempunyai lobang-lobang isap yang cukup banyak dapat merupakan sumber air tanah yang memuaskan, begitu juga dengan batu kapur. Pada umumnya batuan beku, metamorforik, dan batuan sedimen merupakan akuifer yang buruk kecuali kalau batuan tersebut retak dan berongga yang cukup besar sehingga dapat menyediakan tempat penampungan air dan saluran (Bowles, 1986).

2.8 Media pengisian air tanah

Kondisi alam dan distribusi akuifer, aquilude, dan aquitard dalam sisitem geologi dikendalikan oleh lithologi, stratigrafi (susunan lithologi) dan struktur (pola dari stratigraphi) dan material penyimpanan geologi dan formasi.

2.9 Batas Daerah Imbuhan Air Tanah dan Daerah Lepasn Air Tanah

Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2009 telah menetapkan pedoman penyusunan rancangan penetapan cekungan air tanah. Batas antara daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasn air tanah merupakan bagian dari batas cekungan air tanah. Penentuan batas antara daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasn air tanah sangat penting dalam menyusun rancangan penetapan cekungan air tanah. Batas daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasn air tanah ditentukan melalui identifikasi data hidrogeologi dimulai dari data yang paling sederhana sampai data yang paling akurat sebagai berikut :

1. Penentuan batas daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasn air tanah berdasarkan tekuk lereng.

Tekuk lereng merupakan batas antara morfologi dataran dengan perbukitan, pada umumnya merupakan daerah kaki bukit atau kaki pegunungan. Daerah imbuhan air tanah pada umumnya terletak di atas tekuk lereng, biasanya berupa morfologi perbukitan, pegunungan, atau tubuh dan puncak gunung api. Adapun daerah lepasn air tanah terletak di bawah tekuk lereng biasanya berupa morfologi dataran. Pada peta topografi dengan skala lebih besar dari 1:250.000 batas antara daerah dataran dengan lereng perbukitan dapat terlihat cukup jelas, daerah dengan garis kontur yang rapat secara umum merupakan daerah imbuhan air tanah, sedangkan daerah dengan garis kontur yang jarang merupakan daerah lepasn air tanah.

2. Penentuan batas daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasn air tanah berdasarkan pola aliran sungai.

Daerah imbuhan air tanah pada umumnya dicirikan oleh beberapa anak sungai yang relatif pendek dan lurus. Pada umumnya daerah imbuhan air tanah ditempati oleh sungai orde ketiga dan keempat atau orde yang lebih rendah lagi. Adapun daerah lepasn air tanah pada umumnya dicirikan

dengan morfologi kawasan yang ditempati oleh aliran sungai utama atau beberapa cabang aliran sungai utama yang relatif panjang alurnya. Alur sungai di daerah lepasan air tanah pada umumnya berkelok-kelok dan ditempati oleh sungai orde pertama serta orde kedua.

3. Penentuan batas daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasan air tanah berdasarkan mata air.

Mata air merupakan tempat pemunculan/lepasan air tanah ke permukaan tanah. Daerah di sebelah atas atau arah hulu dari titik mata air secara umum merupakan daerah imbuhan air tanah. Adapun daerah di sebelah bawah atau pada arah hilir dari titik mata air secara umum merupakan daerah lepasan air tanah. Beberapa titik mata air pada umumnya terletak berjajar pada ketinggian yang relatif sama. Dari deretan titik mata air tersebut dapat ditarik garis yang memisahkan daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasan air tanah.

4. Penentuan batas daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasan air tanah berdasarkan kedalaman muka air tanah.

Di daerah imbuhan air tanah tekanan hidrolika lapisan jenuh air pada titik yang berdekatan dengan bidang muka air tanah lebih besar dari pada tekanan hidrolika pada titik yang berada dibawahnya, sehingga kedudukan muka air tanah semakin dalam seiring dengan semakin dalamnya lubang bor. Sumur yang dibuat di daerah imbuhan air tanah umumnya mempunyai muka air tanah yang dalam, apabila sumur tersebut diperdalam maka naikin dalam pula kedudukan muka air tanahnya. Di daerah imbuhan air tanah, arah umum aliran air tanah vertikal ke bawah.

Pada daerah lepasan air tanah, tekanan hidrolika lapisan jenuh air pada titik yang berdekatan dengan bidang muka air tanah lebih kecil dari pada tekanan hidrolika pada titik yang berada di bawahnya, sehingga kedudukan muka air tanah semakin dangkal sesuai dengan semakin dalamnya lubang bor. Sumur yang dibuat di daerah lepasan air tanah umumnya mempunyai muka air tanah yang dangkal, apabila sumur tersebut diperdalam maka makin dangkal pula kedudukan muka air tanahnya, bahkan ada kalanya muka air tanah tersebut naik melampaui permukaan tanah dan meluap mengalir sendiri ke luar dari lubang sumur bor yang

dikenal sebagai surnur artesis. Di daerah lepasan air tanah, arah umum aliran air tanah tertekan vertikal ke atas.

Pada daerah yang hanya terdapat sistem akuifer tidak tertekan, batas antara daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasan air tanah biasanya ditempati oleh zona transisi dengan ciri arah aliran air tanah horizontal. Pada zona transisi yang merupakan batas antara daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasan air tanah tersebut kedudukan muka air tanah relatif stabil, meskipun sumur diperdalam tetapi kedudukan muka air tanah tidak bertambah dalam dan juga tidak bertambah dangkal.

Pada daerah yang terdapat gabungan sistem akuifer tertekan dan tidak tertekan, batas daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasan air tanah merupakan garis yang menghubungkan titik-titik perpotongan kontur muka air tanah tidak tertekan (muka preatik) dengan kontur muka air tanah tertekan (muka pisometrik).

Pada lokasi sepanjang garis yang menghubungkan titik-titik perpotongan tersebut (hinge line) merupakan batas antara daerah imbuhan air tanah dan daerah lepasan air tanah. Di daerah imbuhan air tanah, muka air tanah sistem akuifer tidak tertekan lebih tinggi kedudukannya dari pada muka air tanah sistem akuifer tertekan. Sebaliknya di daerah lepasan air tanah, muka air tanah sistem akuifer tidak tertekan lebih rendah kedudukannya daripada muka air tanah sistem akuifer tertekan. Penentuan daerah imbuhan dan lepasan dapat dilakukan dengan menggabungkan beberapa metode (Kodoati, 2010).

Berdasarkan pedoman Panduan Teknis Pengelolaan Air Tanah yang diterbitkan oleh Badan Geologi Tahun 2007, menjelaskan bahwa ciri-ciri daerah imbuhan dan daerah lepasan air tanah pada suatu cekungan air tanah terdiri atas ciri-ciri umum dan khusus yang diuraikan sebagai berikut :

1. Ciri-Ciri Umum Daerah Imbuhan Air Tanah, yakni:
 - a. Mempunyai arah umum aliran air tanah secara vertikal ke bawah.
 - b. Air meresap ke dalam tanah sampai muka air tanah (mengisi akuifer).
 - c. Kedudukan muka preatik relatif dalam.
 - b. Kedudukan muka preatik lebih dalam dari muka pisometrik pada kondisi alamiah.
 - c. Daerah singkapan batuan lolos air tidak jenuh air.

- d. Daerah pegunungan
- e. Kandungan kimia air tanah relatif rendah
- f. Umur air tanah relatif muda.

Sedangkan Ciri-Ciri Khusus Daerah Imbuhan Air Tanah, yakni:

- a. Daerah tubuh dan puncak kerucut gunung api.
 - b. Daerah karst yang mempunyai retakan dan lubang pelarutan.
 - c. Daerah singkapan batuan pembentuk akuifer tertekan bagian hulu.
2. Ciri-Ciri Umum Daerah Lepas Air Tanah, yakni :
- 1. Mempunyai arah umum aliran air tanah secara vertikal ke atas.
 - 2. Muka air tanah bergerak ke atas mengisi pori-pori tanah pada zona tidak jenuh air.
 - 3. Kedudukan muka preatik lebih dangkal dari muka pisometrik pada kondisi alamiah.
 - 4. Daerah sebelah hilir pemunculan mata air permanen.
 - 5. Kedudukan muka preatik relatif dangkal.
 - 6. Kandungan kimia air tanah relatif tinggi
 - 7. Umur air tanah relatif tua.
 - 8. Daerah dataran.

Sedangkan Ciri-Ciri Khusus Daerah Lepas Air Tanah, yakni :

- a. Menempati kaki atau dataran kerucut gunung api.
- b. Menempati kaki atau lereng bawah pegunungan karst dan dijumpai mata air permanen.

2.10 Parameter Yang Mempengaruhi Daerah Imbuhan

2.10.1 Litologi

Litologi merupakan faktor yang urgen dimana menyangkut kemampuan suatu batuan untuk menyimpan dan meloloskan air. Lithologi (macam-macam kulit bumi) merupakan susunan fisik dari simpanan geologi. Susunan ini termasuk komposisi mineral, ukuran butiran dan kumpulan butiran yang terbentuk dari sedimentasi atau batuan yang menampilkan sistem geologi. Sedangkan stratigraphi menjelaskan hubungan geometris dan umur antara macam-macam lensa, dasar dan

formasi dalam geologi sistem dari asal terjadinya sedimentasi. Bentuk struktur seperti pecahan/belahan, retakan, lipatan dan patahan serta jungkit yang merupakan sifat-sifat geometric dari sistem geologi yang dihasilkan oleh perubahan bentuk akibat adanya proses penyimpanan dan proses kristalisasi dari batuan.

Air hujan yang jatuh ke tanah akan terserap oleh tanah, yang kemudian akan mengisi sistem akuifer menjadi air tanah. Dalam proses pengisian air tanah memerlukan media yang terbagi menjadi dua media yaitu media pori yang merupakan media primer dan media sekunder yang disebut dengan media retakan.

Media pori itu merupakan media pengisian air tanah dimana air meresap melalui ruang antara butiran tanah. Besar kecilnya pengisian air tanah melalui media pori dipengaruhi oleh karakteristik tanah, yang meliputi porositas, ukuran batuan dan konduksi hidroulik.

Sedangkan media retakan biasanya disebabkan oleh peristiwa-peristiwa alam, seperti proses pemdinginan, lipatan, patahan, perubahan cuaca ataupun karena reaksi kimia.

Semakin besar media pengisian air tanah tersebut menyerap air hujan, maka semakin besar pula peluang untuk mengisi air tanah. Sebaliknya semakin kecil media pengisian air tanah tersebut menyerap air hujan, maka semakin kecil pula peluang untuk mengisi air tanah dan akan menjadi *Runoof*.

Menurut Kodoeati (2010) menyebutkan bahwa pada prinsipnya batuan dapat dibagi menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu :

a. Batuan Beku

Batuan ini terbentuk dari hasil pembekuan magma yang cair dan panas. Batuan beku yang terbentuk di bawah permukaan tanah (*intrusive*) seperti granit, diorite, dan gabro. Sedangkan batuan beku yang terbentuk di atas permukaan (*ekstrusif*) seperti lava basalt, andesit, dan riolit. Lava basalt merupakan salah satu dari batuan vulkanik. Dimana batuan vulkanik ini memiliki pori-pori batuan yang tinggi dari hasil pengembangan bukaan gelembung-gelembung gas pada lava dingin.

Semakin tua umur batuan vulkanik kelulusan dan kesarangan cenderung semakin secara perlahan terhadap waktu geologi, hal ini terjadi karena terjadi pemadatan dan terisinya pori-pori oleh mineral sekunder.

Hal serupa juga dijelaskan oleh Ardina (1985) mengenai hubungan antara litologi (gunungapi tua, gunungapi muda, batu gamping tua dan batu gamping muda) dengan debit mata air yang keluar dari masing-masing formasi batuan, menyebutkan bahwa semakin tua umur batuan gunungapi maka semakin kecil pengaruhnya terhadap debit mata air yang muncul.

Abdulrahman (1990) melakukan penelitian mata air pada suatu daerah vulkanis yang tersusu atas beberapa formasi batuan berumur kuartar dan tersier. Umur batuan ini berpengaruh terhadap air yang dikandungnya, bahwa semakin tua umur batuan maka debit mata air umumnya kecil. Daerah yang tersusu oleh batuan vulkanis memiliki lebih banyak mata air daripada batuan lainnya.

b. Batuan sedimen

Batuan sedimen merupakan material hasil rombakan dari batuan beku, contoh batu pasir dan batu lempung. Batuan sedimen dibawa oleh aliran sungai kemudian diendapkan di suatu tempat dan mengalami proses pemadatan, konsolidasi dan sedimentasi yang akhirnya akan mengeras dan disebut batuan sedimen. Batuan ini memiliki ukuran butiran mulai dari sangat halus sampai sangat kasar. Batuan sedimen yang memiliki kelulusan tinggi jika memiliki ukuran butiran yang kasar sehingga menjadi akuifer yang baik. Sebaliknya, mempunyai ukuran butiran yang sangat kecil seperti lempung, maka bertindak sebagai lapisan kedap yang tidak dapat melepaskan air.

c. Batuan Malihan (metamorf)

Batuan malihan terbentuk akibat pengaruh tekanan atau panas yang hebat sehingga akan merubah menjadi batuan baru. Batuan malihan ini memiliki kesarangan (porositas) yang rendah karena adanya saling kunci antar kristal penyusun batuan. Sedangkan batuan pada kedalaman tertentu dapat retak oleh beban berat lapisan bantuan yang berada di atasnya serta

dapat terjadi retakan dan patahan akibat gaya tektonik. Rekanan ini dapat meningkatkan kesarangan (porositas) batuan sekitar 2 % - 5 %.

2.10.2 Kemiringan Lahan (Morfologi)

Kemiringan lahan Merupakan variabel yang sangat berpengaruh terhadap proses resapan air pada daerah imbuhan. Karena tidak semua daerah yang mampu meresapkan air hujan ke dalam tanah otomatis merupakan daerah imbuhan. Keterkaitan antara kemiringan lahan dengan resapan pada daerah imbuhan yaitu permukaan tanah pada daerah luahan air tanah yang terletak di daerah dataran juga mampu meresapkan air hujan ke dalam lajur tidak jenuh sehingga mengubah lajur tidak jenuh menjadi kolom yang jenuh air. Akibatnya muka air tanah naik menjadi semakin dangkal bahkan dekat ke permukaan tanah. Namun karena muka air tanah di daerah luahan pada awalnya cukup dangkal maka kolom air tambahan tersebut tidak cukup menimbulkan tekanan hidraulika ke bawah. Pada kondisi ini air hujan yang jatuh ke permukaan tanah tidak mampu lagi meresap. Sehingga selama hujan masih berlangsung maka daerah tersebut menjadi tergenang atau dikenal sebagai banjir.

Air hujan yang jatuh di daerah imbuhan pada awalnya mengisi lajur tidak jenuh dan mengubah lajur tidak jenuh menjadi jenuh sehingga muka air tanah semakin naik atau dangkal. Karena kedudukan muka air tanah di daerah imbuhan awalnya relatif dalam maka kenaikan muka air tanah tersebut membentuk kolom air yang cukup tebal dan menimbulkan tekanan hidraulika yang cukup kuat untuk menekan ke bawah sehingga air hujan yang meresap akan terus mengalir ke bawah menambah air tanah yang terdapat di lajur jenuh. Sehingga selama hujan berlangsung permukaan tanah di daerah imbuhan selalu mampu meresapkan air hujan yang jatuh di permukaan tanah. Letak daerah imbuhan biasanya berada di kawasan hulu aliran sungai dengan morfologi berupa perbukitan atau pegunungan.

2.10.3 Curah hujan

Dari segi daya dukung lingkungan, dengan curah hujan yang sama resapan air akan semakin besar jika hujan terjadi dalam waktu yang panjang. Semakin tinggi dan lama curah hujan, semakin besar skornya karena pada dasarnya semakin tinggi dan lama curah hujan semakin besar air yang dapat meresap ke dalam tanah.

2.11 Penentuan Daerah Imbuhan

Dalam penelitian ini penentuan daerah imbuhan dilakukan dengan penggabungan beberapa parameter yang mempengaruhi daerah imbuhan. penggabungan parameter tersebut dengan menggunakan overlay weighted sum/ sistem tumpang susun dari parameter yang mempengaruhi. Teknik overlay yang digunakan adalah metode *Overlay Weighted Sum*.

Masing-masing parameter mempunyai pengaruh terhadap resapan air ke dalam tanah yang dibedakan dengan nilai bobot. Parameter yang mempunyai nilai bobot paling tinggi merupakan parameter yang paling menentukan kemampuan peresapan untuk menambah air tanah secara alamiah pada suatu cekungan air tanah. Menurut Panduan Teknis Pengelolaan Air Tanah, Klasifikasi daerah imbuhan air tanah dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Memberi nilai bobot setiap parameter;
- b. Memberi nilai peringkat setiap parameter;
- c. Menjumlahkan hasil perkalian antara nilai bobot dan nilai peringkat pada setiap parameter;
- d. Mengklasifikasikan daerah imbuhan air tanah berdasarkan nilai imbuhan, yaitu menjumlahkan hasil perkalian antara nilai bobot dan nilai peringkat pada setiap parameter.

$$\text{Nilai Imbuhan} = K_b * K_p + P_b * P_p + S_b * S_p + L_b * L_p \quad (2.1)$$

K = Kelulusan batuan

P = Curah hujan rata-rata tahunan

S = Tanah penutup

L = Kemiringan lereng

b = Nilai bobot

p = Nilai peringkat

- e. Mengelompokkan daerah imbuhan air tanah menjadi daerah imbuhan utama, daerah imbuhan tambahan, dan daerah imbuhan tidak berarti.
 - 1) Daerah imbuhan utama, merupakan daerah imbuhan air tanah dengan nilai imbuhan paling besar
 - 2) Daerah imbuhan tambahan, merupakan daerah imbuhan air tanah dengan nilai imbuhan sedang.
 - 3) Daerah imbuhan tidak berarti, merupakan daerah imbuhan air tanah dengan nilai imbuhan terkecil.

2.12 Penginderaan Jauh

2.12.1 Definisi Penginderaan Jauh

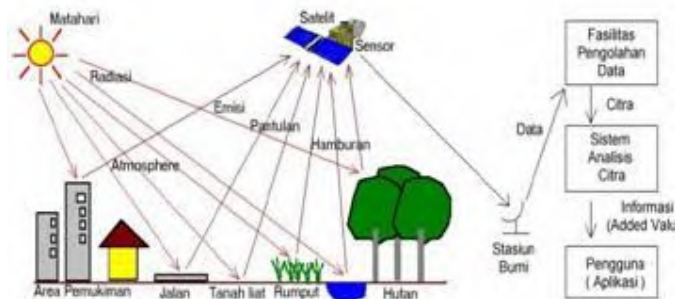
Penginderaan jauh (remote sensing) adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu subjek, daerah, atau fenomena melalui analisa data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer, 1994).

Penginderaan jauh dalam lingkup luas berarti metodologi yang digunakan untuk mempelajari karakteristik objek dari jarak jauh. Teknologi karakteristik objek dari jarak jauh. Teknologi penginderaan jauh telah berkembang dengan cepat sejak manusia semakin sadar akan keseimbangan yang layak antara perkembangan sumber daya dan pemeliharaan lingkungan. Sekarang, penginderaan jauh merupakan cara yang praktis untuk memantau secara berulang dan cermat dalam pengelolaan sumber daya bumi dengan menyeluruh (Wolf, 1993).

2.12.2 Teknik Penginderaan Jauh

Menurut Sutanto (1994), empat komponen penting dalam sistem penginderaan jauh adalah (1) sumber tenaga elektromagnetik, (2) atmosfer, (3) interaksi antara tenaga dan objek, (4) sensor. Komponen

dalam sistem ini bekerja bersama untuk mengukur dan mencatat informasi mengenai target tanpa menyentuh obyek tersebut. Secara skematik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Sistem Penginderaan Jauh

(Sutanto, 1994)

Sebuah sistem penginderaan jauh memerlukan sumber tenaga baik alamiah maupun buatan. Tenaga yang dimaksud berupa spektrum elektromagnetik yang meliputi spektra kosmis, gamma, sinar X, ultra violet, cahaya tampak, infra merah, gelombang mikro serta gelombang radio. Jumlah total seluruh spektrum disebut spektrum elektromagnetik. Dalam dunia penginderaan jauh, terdapat dua sistem tenaga pada wahana yaitu sistem pasif dan sistem aktif.

1. Sistem Pasif

Pada wahana yang menggunakan sistem pasif, sumber tenaga utama yang dibutuhkan oleh satelit berasal dari sumber lain yang tidak terintegrasi dalam wahana. Sumber tenaga yang dimaksud biasanya berupa energi yang berasal dari matahari. Beberapa wahana yang menggunakan sistem ini antara lain satelit Aster, Landsat, SPOT, NOAA, MODIS dan lainnya.

2. Sistem Aktif

Pada wahana yang menggunakan sistem pasif, sumber tenaga utama yang dibutuhkan oleh wahana menggunakan tenaga elektromagnetik yang dibangkitkan oleh sensor radar (radio detecting and ranging) yang terintegrasi pada wahana tersebut.

Beberapa wahana yang menggunakan sistem ini antara lain Radarsat, JERS, ADEOS dan lainnya (Lillesand dan Kiefer, 2007).

Penginderaan jauh merupakan teknik perekaman data menggunakan sensor sebagai alat perekam obyek bumi. Sensor dipasang pada wahana (platform) dan letaknya jauh dari obyek yang diindera, maka diperlukan tenaga elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh obyek tersebut. Sensor terbatas kemampuannya untuk mengidentifikasi obyek kecil. Batas kemampuan memisahkan setiap obyek dinamakan resolusi. Resolusi citra satelit merupakan indikator tentang kemampuan sensor atau kualitas sensor dalam merekam obyek. Resolusi satelit sendiri menurut Purwadhi (2001), terbagi menjadi lima (5), yang biasa digunakan sebagai parameter kemampuan sensor satelit adalah :

1. Resolusi Spasial
Merupakan ukuran obyek terkecil yang masih dapat disajikan, dibedakan dan dikenali pada citra. Semakin kecil ukuran obyek yang dapat terekam, maka semakin baik kualitas sensornya.
2. Resolusi Spektral
Merupakan daya pisah obyek berdasarkan besarnya spektrum elektromagnetik yang digunakan untuk perekaman data.
3. Resolusi Radiometrik
Kemampuan sistem sensor untuk mendeteksi perbedaan pantulan terkecil kekuatan sinyal.
4. Resolusi Temporal
Perbedaan kenampakan yang masih dapat dibedakan dalam waktu perekaman ulang.
5. Resolusi Termal
Yaitu keterbatasan sensor penginderaan jauh yang merekam pancaran tenaga termal atau perbedaan suhu yang masih dapat dibedakan oleh sensor penginderaan jauh secara termal.

2.13 Satelit Landsat 7 ETM+

Landsat merupakan salah satu satelit teknologi sumberdaya bumi (Earth Resources Technology Satellite/ETRS) milik The National Aeronautical and Space Administration (NASA) di Amerika.

Landsat 1 dimulai tahun 1972, satelit ini mengorbit pada ketinggian 880-940 km di atas permukaan bumi, bergerak pada orbit 9° Kutub Utara dan Selatan, serta mengelilingi bumi setiap 103 menit. Kemudian pada tahun 1975 diikuti Landsat 2, satelit ini membawa sensor Retore Beam Vidcin (RBV) dan Multi Spectral Scanner (MSS), kemudian diteruskan dengan seri berikutnya, yaitu Landsat 3, 4, 5, 6 dan 7. Landsat 7 ETM+ merupakan satelit terakhir dan bentuk baru dari satelit Landsat 6 yang gagal mengorbit. Landsat 5 yang diluncurkan tahun 1982, membawa sensor Thematic Mapper (TM) ditempatkan pada sensor MSS, MSS dan TM merupakan whiskbroom scanner.

Landsat didesain untuk memantau daerah pertanian, hutan, geologi, tata guna lahan, dan untuk mendeteksi fenomena-fenomena di kawasan pesisir. Sistem Landsat 7 ETM mempunyai tiga instrument pencitraan, yaitu:

- a. RBV merupakan instrument semacam televisi yang mengambil citra snapshot dari permukaan bumi sepanjang track lapangan satelit pada setiap selang waktu tertentu.
- b. MSS merupakan suatu alat scanning mekanik yang merekam data dengan cara men-scanning permukaan bumi dalam jalur atau baris tertentu.
- c. TM merupakan alat scanning mekanis yang mempunyai resolusi spektral, spasial dan radiometrik.

Tabel 2.1 Karakteristik Landsat 7 ETM+ Sumber : USGS, 2013

Sistem	Landsat 7
Orbit	705 km, 98.2°, sun-synchronous, 10:00 AM crossing, rotasi 16 hari (repeat cycle)
Sensor	Sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper)
Swath Width	185 km (FOV=15°)
Off-track viewing	Tidak tersedia
Revisit Time	16 hari
Band-band Spektral (µm)	0.45 -0.52 (1), 0.52-0.60 (2), 0.63-0.69 (3), 0.76-0.90 (4), 1.55-1.75 (5), 10.4-12.50 (6), 2.08-2.34 (7), 0.50-0.90 (PAN)
Ukuran Piksel Lapangan (Resolusi spasial)	15 m (PAN), 30 m (band 1-5, 7), 60 m band 6

Terdapat banyak aplikasi dari data Landsat TM: pemetaan penutupan lahan, pemetaan penggunaan lahan, pemetaan tanah, pemetaan geologi, pemetaan suhu permukaan laut dan lain-lain. Untuk pemetaan penutupan dan penggunaan lahan data Landsat TM lebih dipilih daripada data SPOT multispektral karena terdapat band infra merah menengah. Landsat TM adalah satu-satunya satelit non-meteorologi yang mempunyai band inframerah termal.

Data termal diperlukan untuk studi proses-proses energi pada permukaan bumi seperti variabilitas suhu tanaman dalam areal yang diirigasi dan juga UHI yang menjadi topik utama dalam penelitian ini. Seperti Tabel 2.3 menunjukkan aplikasi atau kegunaan utama prinsip pada berbagai band Landsat TM.

Tabel 2.2 Band-band pada landsat-TM dan kegunaannya

Band	Panjang Gelombang (μm)	Spektral	Kegunaan
1	0,45 - 0,52	Biru	Tembus terhadap tubuh air, dapat untuk pemetaan air, pantai, pemetaan tanah, pemetaan tumbuhan, pemetaan kehutanan dan Mengidentifikasi budidaya manusia
2	0,52 - 0,60	Hijau	Untuk pengukuran nilai pantul hijau pucuk tumbuhan dan penafsiran aktivitasnya, juga untuk pengamatan kenampakan budidaya manusia
3	0,63 - 0,69	Merah	Dibuat untuk melihat daerah yang menyerap klorofil, yang dapat digunakan untuk membantu dalam pemisahan spesies tanaman juga untuk pengamatan budidaya manusia
4	0,76 - 0,90	Infra merah dekat	Untuk membedakan jenis tumbuhan aktivitas dan kandungan biomas untuk membatasi tubuh air dan pemisahan kelembaban tanah
5	1,55 - 1,75	Infra merah sedang	Menunjukkan kandungan kelembaban tumbuhan dan kelembaban tanah, juga untuk membedakan salju dan awan
6	10,4 - 12,5	Infra Merah Termal	Untuk menganalisis tegakan tumbuhan, pemisahan kelembaban tanah dan pemetaan panas

Sumber : Lillesand dan Kiefer, 1997

2.14 Pengolahan Citra

2.14.1 Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga cocok dengan koordinat peta sesungguhnya. Ada beberapa cara dalam pengkoreksian ini, antara lain triangulasi, polinomial, orthorektifikasi dengan menggunakan kontrol titik-titik lapangan (Ground Control Point), proyeksi peta ke peta dan registrasi titik-titik yang telah diketahui (know point registration). Koreksi citra berdasarkan citra yang lain yang telah dikoreksi disebut image to image.

Koreksi geometrik yang dilakukan terhadap sistem koordinat bumi berfungsi agar semua informasi data citra sesuai dengan keberadaannya di bumi (Purwadhi, 2001). Ada beberapa metode yang digunakan dalam koreksi geometrik sesuai dengan jenis kesalahannya, yaitu :

a. Metode Sistematis

Digunakan untuk koreksi distorsi yang konstan, dengan menerapkan rumus yang diturunkan dari model matematik atas sumber distorsi atau menggunakan data referensi geometrik yang diukur dari sensor penginderaan jauh, misalnya geometri lensa kamera diberikan dengan kalibrasi panjang fokus dan koordinat fiducial mark.

b. Metode Non Sistematis

Digunakan untuk koreksi distorsi acak (random) dengan menerapkan rumus transformasi polinomial dari sistem koordinat geografis ke koordinat citra, yang ditentukan dengan menggunakan titik kontrol tanah (Ground Control Point). Metode ini memerlukan peta teliti yang sesuai dengan daerah liputan citra dan titik medan yang dikenali dalam citra, seperti perpotongan jalan raya, tubuh air yang kecil. Proses koreksi dengan meletakkan sejumlah titik ikat medan yang ditempatkan sesuai dengan koordinat citra (lajur, baris) dan koordinat peta (lintang, bujur). Nilai koordinat kemudian digunakan untuk analisis kuadrat terkecil guna menentukan koefisien bagi dua persamaan transformasi, yang menghubungkan koordinat

citra dan koordinat geografis. Akurasinya tergantung pada orde polinomial, jumlah dan distribusi titik kontrol tanah.

c. Metode Gabungan

Melakukan koreksi sistematis, kemudian kesalahan akan direduksi dengan menggunakan orde polinomial lebih rendah atau pseudo Affin.

Koreksi geometrik mempunyai tiga cara, yaitu:

- a. Melakukan Rektifikasi (pembetulan) atau restorasi (pemulihan) citra agar koordinat citra sesuai dengan koordinat geografis.
- b. Registrasi (mencocokkan) posisi citra dengan citra lain atau mentransformasikan sistem koordinat citra multispektral atau citra multitemporal.
- c. Registrasi citra ke peta atau transformasi sistem koordinat citra ke peta, yang menghasilkan citra dengan sistem proyeksi tertentu.

2.14.2 Rektifikasi

Rektifikasi adalah suatu proses yang mentransformasikan geometri (unsur-unsur spasial) citra dijitalnya sedemikian rupa sehingga setiap pikselnya memiliki posisi di dalam sistem koordinat dunia nyata; sebagai contoh adalah dalam sistem koordinat geodetik $[\lambda, \phi]$ ataupun dalam sistem koordinat proyeksi peta $[x, y]$ (grid) (Prahasta, 2008). Oleh karena posisi piksel pada citra output tidak sama dengan posisi piksel input (aslinya) maka piksel-piksel yang digunakan untuk mengisi citra yang baru harus di-resampling kembali. Resampling adalah suatu proses melakukan ekstrapolasi nilai data untuk piksel-piksel pada sistem grid yang baru dari nilai piksel citra aslinya. Ada beberapa alasan untuk melakukan rektifikasi (GIS Konsorsium Aceh Nias, 2007), antara lain :

1. Untuk perbandingan sebuah piksel dalam beberapa aplikasi
2. Untuk membangun basis data sebuah pemodelan SIG
3. Untuk identifikasi sampel yang mengacu pada koordinat peta
4. Untuk membuat peta foto yang berskala tepat
5. Untuk keperluan overlay sebuah citra dengan data vektor

6. Untuk membandingkan sebuah citra dalam berbagai skala
7. Untuk meningkatkan ketepatan hitungan jarak dan luas pada citra
8. Untuk membuat mosaik citra
9. Berbagai aplikasi lain yang membutuhkan identifikasi sebuah lokasi geografis secara teliti

2.14.3 Strength of Figure (SoF)

Faktor kekuatan bentuk geometri jaringan atau Strength of Figure (SoF) adalah kekuatan dari bentuk kerangka dimana kegunaannya adalah untuk menentukan kekuatan kerangka dari jaring geodesi yang diambil dari gambar dimana kekuatannya akan setara dengan kerangka yang akan dibuat di lapangan.

Sebelum melakukan koreksi geometrik pada citra, perlu adanya desain jaring kontrol yang bertujuan untuk menghitung kekuatan jaring dari citra tersebut. Kekuatan jaring kontrol dihitung dengan menggunakan perataan parameter (Abidin, 2002).

Geometri dari suatu jaringan dapat dikarakterisir dengan beberapa parameter, seperti jumlah dan lokasi titik dalam jaringan, jumlah baseline dalam jaringan, konfigurasi baseline dan loop, serta konektivitas titik dalam jaringan (Abidin, 2002). Kekuatan geometri jaringan akan sangat tergantung pada karakteristik yang diadopsi dari parameter-parameter tersebut. Untuk jumlah titik dalam jaringan yang sama, beberapa bentuk konfigurasi jaringan dapat dibuat tergantung pada karakteristik parameter geometri jaringan yang digunakan.

2.14.4 Ground Control Point (GCP)

GCP atau titik kontrol bumi dapat didefinisikan sebagai sebuah titik di permukaan bumi yang diketahui lokasinya (misal: koordinatnya telah ada) yang digunakan sebagai sumber georeferensi data citra, seperti citra penginderaan jauh. GCP adalah suatu titik-titik yang letaknya pada suatu posisi piksel suatu citra yang koordinat petanya (referensinya) diketahui. GCP terdiri atas sepasang koordinat x dan y , yang terdiri atas koordinat

sumber dan koordinat referensi. Koordinat-koordinat tersebut tidak dibatasi oleh adanya koordinat peta.

2.14.5 Ketelitian Koreksi Geometrik

Pengecekan akurasi dimaksudkan untuk menguji model transformasi yang digunakan untuk koreksi citra. Jumlah titik kontrol diambil sebanyak mungkin setidaknya lebih dari jumlah parameter yang belum diketahui pada rumus transformasi yang digunakan. Demikian pula untuk penempatan GCP, sebaiknya menyebar di seluruh permukaan citra dan tidak mengelompok. Akurasi koreksi geometrik disajikan dalam bentuk standar deviasi (RMSE, Root Mean Square Error). Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat akurasi atau ketelitian koreksi geometrik adalah :

1. Jumlah titik kontrol yang dipakai
2. Penyebaran titik kontrol pada citra
3. Kesalahan identifikasi titik kontrol tanah pada citra
4. Desain dan nilai kekuatan jaring (Strength of Figure)

Ketelitian dalam proses koreksi geometrik adalah 1 piksel. Karena data yang dipergunakan adalah citra satelit Landsat maka kesalahan terbesar yang masih diterima adalah 30 m.

2.14.6 Koreksi Radiometrik

Penggunaan citra dengan basis digital number(DN) mempunyai kesalahan yang belum terkoreksi, yaitu kesalahan radiometrik dan atmosferik. Kesalahan radiometrik disebabkan karena pengaruh sudut elevasi matahari (sun elevation) dan jarak matahari-bumi. Tidak terkoreksinya citra secara radiometrik mengakibatkan metode yang dipakai untuk menganalisis citra (sebagai contoh adalah model algoritma yang dibuat) tidak dapat diterapkan pada citra pada tanggal atau tempat yang berlainan. Oleh karena itu diperlukan koreksi radiometrik untuk menstandarkan kondisi sudut elevasi matahari dan jarak matahari-bumi pada citra yang diterima pada waktu atau tempat mengeliminasi kesalahan radiometrik (Purwadhi, 2001).

Untuk mengurangi kesalahan radiometrik pada citra, serta untuk mengolah algoritma indeks vegetasi yang menggunakan data nilai reflektan dari citra. Proses konversi DN ke reflektan dibutuhkan sebagai nilai inputan pada rumusan algoritma indeks vegetasi. Sehingga untuk melakukan proses ini digunakan perhitungan yang melibatkan metadata citra.

- a. Transformasi Nilai DN ke nilai spektral radian diperoleh berdasarkan persamaan rumus berikut ini (sumber:USGS, 2002):

$$L\lambda = \{(L_{\max} - L_{\min}) / (Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}})\} * (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) \quad (2.2)$$

Dimana:

$L\lambda$ = Spectral Radiance in watts/(meter squared * ster * μm)

L_{MAXR} = Max Detected Radiance Level

L_{MINR} = Min Detected Radiance Level

Q_{CALMAX} = Max Pixel Value

Q_{CALMIN} = Min Pixel Value

Q_{CAL} = Digital Number

- b. Transformasi nilai Spektral Radian ke Reflektan diperoleh berdsarakan persamaan rumus berikut ini (sumber:USGS, 2002): :

$$\rho = (\pi * L\lambda * d^2) / (E_{\text{sun}\lambda} * \cos\theta) \quad (2.3)$$

dimana:

ρ = Unitless Planetary Reflectance

$L\lambda$ = Spectral Radiance at The Sensor's Aperture

d^2 = Earth-Sun Distance in Astronomical Units

$E_{\text{SUN}\lambda}$ = Mean Solar Exoatmospheric Irradiances

θ = Solar Zenith Angle in Degrees

Kesalahan lainnya yang perlu dikoreksi adalah kesalahan atmosferik. Kesalahan atmosferik biasanya disebabkan oleh adanya path radiansi (gelombang elektro magnetik yang dihamburkan/pantulkan oleh atmosfer ke sensor satelit), penyerapan (absorption) gas dan hamburan aerosol di atmosfer. Dengan melakukan koreksi atmosferik diharapkan noise dapat dikurangi atau di eliminasi. Keberadaan atmosfer sangat

mempengaruhi intensitas energi gelombang elektromagnet yang sampai ke sensor satelit.

2.14.7 Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra merupakan suatu proses penyusunan, pengurutan, atau pengelompokan semua piksel ke dalam kelas tertentu berdasarkan suatu kriteria atau kategori obyek. Menurut Purwadhi (2001) metode klasifikasi citra terdiri dari:

a. **Klasifikasi Terselia (*Supervised Classification*)**

Klasifikasi terselia merupakan proses klasifikasi dengan pemilihan kategori informasi yang diinginkan dan memilih training area untuk tiap kategori penutup lahan yang mewakili sebagai kunci interpretasi. Di dalam klasifikasi ini digunakan data penginderaan jauh multispektral yang berbasis numerik, untuk pengenalan polanya dilakukan proses otomatis dengan bantuan komputer, sedangkan identitas dan nilai informasi atau tipe penutup lahan telah diketahui sebelumnya.

b. **Klasifikasi Tak Terselia (*Unsupervised Classification*)**

Klasifikasi tak terselia menggunakan algoritma untuk mengkaji atau menganalisis sejumlah piksel yang tidak dikenal dan membaginya dalam sejumlah kelas berdasarkan pengelompokan nilai digital citra. Kelas yang dihasilkan dari klasifikasi ini adalah kelas spektral. Oleh karena itu, pengelompokan kelas didasarkan pada nilai natural spektral citra, dan identitas nilai spektral tidak dapat diketahui secara dini. Hal itu disebabkan analisisnya belum menggunakan data rujukan seperti citra skala besar untuk menentukan identitas dan nilai informasi setiap kelas spektral.

2.15 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Istilah Sistem Informasi Geografis (SIG) memiliki tiga unsur pokok yaitu sistem, informasi dan geografis. SIG merupakan salah satu sistem informasi yang menekankan pada unsur informasi geografis. Sistem merupakan sekumpulan objek, ide, berikut interelasinya dalam mencapai tujuan atau sasaran bersama. Sistem digunakan untuk mendeskripsikan banyak hal, khususnya untuk aktifitas-aktifitas yang diperlukan pada pemrosesan data.

Sistem informasi adalah suatu kesatuan formal yang terdiri dari berbagai sumber daya fisik maupun logika yang terpadu, yang digunakan untuk menyajikan informasi guna mendukung fungsi operasi, manajemen dan pengambilan keputusan dalam organisasi. Geografis, spasial ataupun geospasial merupakan tiga istilah yang mengandung pengertian yang sama dalam konteks SIG. Geografis mempunyai pengertian suatu persoalan mengenai bumi, baik permukaan dua atau tiga dimensi.

Sistem Informasi Geografis adalah suatu sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, menggabungkan, mengatur, mentransformasi, memanipulasi dan menganalisis data-data geografis. Data geografis yang dimaksud disini adalah data spasial yang mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- a. memiliki geometrik properties seperti koordinat dan lokasi
- b. terkait dengan aspek ruang, seperti persil, kota, kawasan pembangunan
- c. berhubungan dengan semua fenomena yang terdapat di bumi, misalnya data, kejadian, gejala atau obyek
- d. dipakai untuk maksud-maksud tertentu, seperti analisis, pemantauan atau pengelolaan.

Pengertian informasi geografis adalah informasi mengenai tempat-tempat yang terletak di permukaan bumi, pengetahuan mengenai posisi dimana suatu obyek terletak di permukaan bumi dan informasi mengenai keterangan-keterangan (atribut) yang terdapat di permukaan bumi yang posisinya diketahui (Prahasta, 2002). Obyek-obyek dan fenomena-

fenomena dimana lokasi geografis itu berada penting dianalisis demi pengambilan keputusan-keputusan atau demi kepentingan-kepentingan tertentu. Sedangkan proses-proses yang terdapat dalam SIG antara lain:

- a. input (masukan)
- b. manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data)
- c. analisis dan manipulasi
- d. output (keluaran)

Dalam SIG, data grafis dan data teks (atribut) dihubungkan secara geografis sehingga akan memiliki suatu referensi geografis (bergeoreferensi). SIG sangat membantu pekerjaan-pekerjaan yang berkaitan dengan bidang-bidang spasial dan geo-informasi.

2.16 Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi yang berasal dari data citra satelit adalah salah satu sumber utama informasi untuk pemantauan vegetasi di permukaan bumi. Indeks vegetasi adalah pengukuran radiometrik secara spasial dan temporal dari aktivitas fotosintesis vegetasi yang terkait dengan variabel biofisik kanopi seperti indeks luas daun, tutupan vegetasi, biomassa dll.

Indeks vegetasi adalah besaran nilai kehijauan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan sinyal digital data nilai kecerahan (*brightness*) beberapa kanal data sensor satelit. Untuk pemantauan vegetasi, dilakukan proses perbandingan antara tingkat kecerahan kanal cahaya merah (*red*) dan kanal cahaya inframerah dekat (*near infrared*). Fenomena penyerapan cahaya merah oleh klorofil dan pemantulan cahaya inframerah dekat oleh jaringan mesofil yang terdapat pada daun akan membuat nilai kecerahan yang diterima sensor satelit pada kanal-kanal tersebut akan jauh berbeda. Pada daratan non-vegetasi, termasuk diantaranya wilayah perairan, pemukiman penduduk, tanah kosong terbuka, dan wilayah dengan kondisi vegetasi yang rusak, tidak akan menunjukkan nilai rasio yang tinggi (*minimum*). Sebaliknya pada wilayah bervegetasi sangat rapat, dengan

kondisi sehat, perbandingan kedua kanal tersebut akan sangat tinggi (maksimum). Nilai perbandingan kecerahan kanal cahaya merah dengan cahaya inframerah (Karnieli et al., 2009).

Pemantauan indeks vegetasi ini didasarkan pada karakteristik pantulan objek. Pada panjang gelombang inframerah dekat nilai pantulan dari objek (vegetasi) tinggi, sedangkan pada selang panjang gelombang merah nilai pantulannya rendah. Jika kedua kanal ini dikombinasikan akan dihasilkan data yang memiliki respon pantulan terhadap kehijauan vegetasi (Lillesand dan Kiefer, 1994).

Berdasarkan keadaan tersebut maka dapat dibentuk model algoritma yang dapat menghasilkan nilai untuk menduga kehijauan vegetasi. Nilai inilah yang disebut dengan indeks vegetasi. Adapun beberapa formula indeks vegetasi yang digunakan untuk memantau vegetasi, yakni NDVI, SAVI, dan EVI dan MSVI.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan odulasi ratio dari kanal near-infrared dan kanal red. Algoritma indeks vegetasi ini yang paling sering digunakan. Prinsip dari formula tersebut adalah bahwa radiasi dari visible red diserap oleh chlorophyll hijau daun sehingga akan direfleksikan rendah, sedangkan radiasi dari sinar near-infrared akan kuat direfleksikan oleh struktur daun spongy mesophyll. Nilai indeks yang diperoleh mempunyai kisaran dari -1.0 sampai 1.0. Menurut Lillesand and Kiefer (1994), awan, air dan non vegetasi mempunyai nilai NDVI kurang dari nol. Nilai indeks yang lebih tinggi berarti mempunyai penutupan vegetasi yang lebih sehat. NDVI dapat digunakan sebagai indikator biomassa relatif dan tingkat kehijauan daun.

$$L_{\lambda} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

ρ_{NIR} : Nilai band spektral infra merah dekat

ρ_{RED} : Nilai band spektral merah

(Lillesand dan Kiefer, 1994).

2.17 Hubungan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan pada daerah imbuhan di CAT Pasuruan

Menurut Asdak (2003), pengaruh vegetasi penutup tanah adalah untuk melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan, menurunkan kecepatan dan volume air larian, menahan partikel –partikel tanah pada tempatnya melalui sistem perakaran dan serasah yang dihasilkan dan mempertahankan kemantapan kapasitas tanah dalam menyerap air.

Vegetasi mempengaruhi siklus hidrologi melalui pengaruhnya terhadap air hujan yang jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi, ke tanah dan batuan di bawahnya. Oleh karena itu, ia mempengaruhi volume air yang masuk ke sungai dan danau, ke dalam tanah dan cadangan air bawah tanah.

Menurut Noor (2011), Banyaknya air yang masuk ke dalam tanah sangat bergantung pada sifat, keadaan dan jenis bantuan setempat, jumlah vegetasi di daerah tangkapan air, bentuk betang alam dan banyaknya air yang jatuh ke bumi sebagai curah hujan, salju dan lain sebagainya.

Pengisian air tanah dalam proses infiltrasi dipengaruhi oleh kondisi penutup permukaan, Dengan melindungi tanah dari dampak tetesan hujan dan dengan melindungi pori-pori tanah dari penyumbatan. Air hujan tidak langsung menumbuk permukaan tanah, tetapi akan jatuh perlahan-lahan melalui tajuk (daun) dan mengalir melalui batang pohon. Kemudian, permukaan tanah yang dipenuhi tegakan pohonnya akan menghasilkan serasah yang mampu mendorong laju infiltrasi yang tinggi dan mengurangi laju *run off*.

Kerapatan vegetasi dan tutupan lahan pada daerah imbuhan di CAT Pasuruan memiliki kontribusi terhadap konservasi air tanah. Kawasan hutan merupakan tutupan lahan yang sangat mempengaruhi terhadap konservasi air tanah baik melalui akarnya maupun dengan serasah.

Di daerah penelitian ini banyak terdapat sawah, ladang, dan hutan. Sebagian besar area penelitian ini terdapat sawah yang jenis tanamannya berupa tanaman padi, jagung, dan tebu. Jenis tanaman hutan

yang dominasi di seluruh daerah penelitian ini adalah pohon mahoni, dan pohon sengon. Seperti tanaman tebu banyak ditemukan di kecamatan Lengkok, Rejoso, Gondangwetan dan nguling. Tanaman sengon banyak tumbuh di Kecamatan Purwodadi, Purwosari, Lumbang, Tukur, dan Puspo. Oleh karena itu pada daerah imbuhan CAT Pasuruan dari hasil pengolahan citra dengan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan klasifikasi tutupan lahan didapatkan hasil perubahan penurunan luasan terbesar pada kerapatan tinggi terdapat di tutupan lahan hutan yakni 100,80 Ha, dan peningkatan terdapat di tutupan lahan ladang yakni 794,34 Ha. Ini menunjukkan adanya perubahan tata guna lahan yang dapat mengancam kelestarian lingkungan apabila tidak dilakukan tindakan pencegahan.

2.18 Regresi Linier

Sebelum membahas mengenai regresi linier, pengertian dari Regresi adalah pengukur hubungan dua variabel atau lebih yang dinyatakan dengan bentuk hubungan atau fungsi. Untuk menentukan bentuk hubungan (regresi) diperlukan pemisahan yang tegas antara variabel bebas yang sering diberi simbol X dan variabel tak bebas dengan simbol Y. yang dinyatakan dalam bentuk fungsi matematis $Y = f(X)$. Bentuk fungsi atau regresi dapat digolongkan menjadi beberapa macam yaitu:

a. Regresi linier.

Regresi linier ialah bentuk hubungan di mana variabel bebas X maupun variabel tergantung Y sebagai faktor yang berpangkat satu.

b. Regresi non linier.

Regresi non linier ialah bentuk hubungan atau fungsi di mana variabel bebas X dan atau variabel tak bebas Y dapat berfungsi sebagai faktor atau variabel dengan pangkat tertentu.

Salah satu jenis regresi non linier adalah regresi polinomial. Regresi polinomial ialah regresi dengan sebuah variabel bebas sebagai faktor dengan pangkat terurut. Bentuk-bentuk fungsinya adalah sebagai berikut.

$$Y = a + bX + cX^2 \quad (\text{fungsi kuadrat}).$$

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 \quad (\text{fungsi kubik})$$

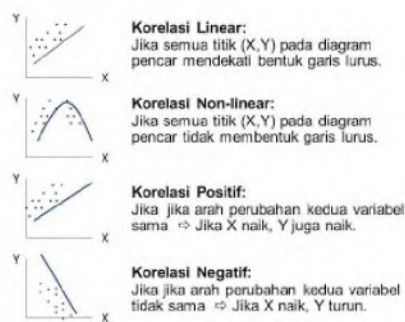
$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + eX^4 \quad (\text{fungsi kuartik}),$$

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + eX^4 + fX^5 \quad (\text{fungsi kuinik}),$$

dan seterusnya.

Sedangkan korelasi adalah pengukur hubungan dua variabel atau lebih yang dinyatakan dengan derajat keeratan atau tingkat hubungan antarvariabel-variabel. Mengukur derajat hubungan dengan metode korelasi yaitu dengan koefisien korelasi r . Tingkat atau derajat keeratan hubungan dapat diukur dengan memakai koefisien korelasi dengan simbol r untuk hubungan linier sederhana dan indeks korelasi dengan simbol R untuk hubungan bukan linier sederhana.

Koefisien korelasi r dipakai hanya untuk menyatakan keeratan hubungan yang bersifat linier sederhana, sedangkan indeks korelasi R untuk menyatakan keeratan hubungan dari bentuk-bentuk linier berganda dan bentuk non linier. Indeks korelasi R sering disebut juga koefisien korelasi berganda. Selain koefisien korelasi sederhana r , dan indeks korelasi R , terdapat juga modifikasi atau fraksi dari R , yang disebut dengan koefisien korelasi parsial, korelasi rank, korelasi serial, dan korelasi biserial, korelasi kotingensi, dan korelasi kanonikal.



Gambar 2.4 Grafik Persamaan Linier dan Non Linier

2.19 Gambaran Umum Daerah Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di wilayah Cekungan Air Tanah tepatnya pada batas administrasi Kabupaten Pasuruan. Secara geografis CAT Pasuruan terletak di 7°31'55" - 7°36'39" Lintang Selatan dan 112°05'11" - 112°05'11" Bujur Timur. Cekungan Air Tanah (CAT) Pasuruan terletak pada ketinggian antara 0 m dpl sampai 3000 m dpl.

Secara administrasi wilayah CAT Pasuruan yang diusulkan terletak pada 4 (Empat) Kabupaten / Kota, yakni : Kabupaten Mojokerto, (meliputi Kecamatan Trawas, Ngoro, dan Pungging), Kabupaten Pasuruan, Kota Pasuruan, Kabupaten Ponorogo (Kecamatan Lawang), dan Sidoarjo (Kecamatan Jabon).

Luas wilayah dari CAT Pasuruan mencapai 1.596 km², sedangkan luas daerah penelitian mencakup 1.474,015 km². Sehingga batas wilayah CAT Pasuruan hampir berhimpit dengan batas terluar wilayah Kabupaten Pasuruan, yakni mencapai 92,36%.

Kabupaten pasuruan secara administrasi memiliki 24 kecamatan, yakni Bangil, Beji, Gempol, Gondang Wetan, Grati, Kejayan, Kraton, Lekok, Lumbang, Nguling, Pandaan, Pasrepan, Pohjentrek, Prigen, Purwodadi, Purwosari, Puspo, Rejoso, Rembang, Sukorejo, Tosari, Tuttur, Winongan, dan Wonorejo.

2.19.1 Iklim dan Curah Hujan

Kabupaten Pasuruan pada umumnya beriklim tropis, berdasarkan data iklim dan curah hujan di Kabupaten Pasuruan berdasarkan profil kabupaten, dengan klasifikasi Schmidt dan Fergusson. Sebagian besar kecamatan yang ada masuk dalam kategori tipe iklim C dan selebihnya tipe B. Temperatur sebagian besar wilayah antara 24 - 32°C, sedangkan untuk wilayah di atas 2770 m dpl, memiliki temperatur terendah sampai 50°C. Beberapa kecamatan yang memiliki temperatur paling rendah, yaitu hingga 50°C ini seperti Tosari, Puspo dan Tuttur. Variasi curah hujan untuk masing-masing wilayah rata-rata berada di bawah 1.750 mm dengan rata-

rata hari hujan 66 - 138 HH. Kecepatan angin berkisar rata-rata antara 12 - 30 knot.

2.19.2 Morfologi

Morfologi kabupaten Pasuruan Berdasarkan Peta Geomorfologi Kabupaten Pasuruan, mencerminkan susunan bentang alam berupa morfologi dataran, morfologi bergelombang lemah, morfologi bergelombang kuat, dataran tinggi dan morfologi gunungapi (puncak, tubuh dan lerengkaki).

a. **Morfologi Dataran**

Satuan morfologi ini merupakan daerah dataran pantai sampai bagian bawah dari morfologi bergelombang. Satuan ini menempati ketinggian kurang dari 20 m di atas muka laut (m dpl), secara umum melandai ke arah timur (pantai) dengan kemiringan lerengnya kurang dari 2°. Bentang alam dataran ini dibentuk oleh material lepas berukuran lempung sampai kerakal dari hasil erosi beberapa sungai yang mengalir dari barat ke timur dan Tuf Rabano.

b. **Morfologi Bergelombang Lemah**

Satuan morfologi ini merupakan daerah antara morfologi dataran sampai bagian bawah dari morfologi lerengkaki gunungapi. Satuan ini menempati ketinggian kurang dari 25 - 225 m dpl, secara umum melandai ke arah timur (pantai) dengan kemiringan lerengnya kurang dari 2° setempat 2 – 6°, dimana sungai-sungainya memperlihatkan pola aliran sudendritik sampai subparalel. Bentang alam ini tersusun oleh Tuf Rabano dan batuan gunungapi.

c. **Morfologi Bergelombang Kuat**

Satuan morfologi ini merupakan morfologi yang agak menonjol diantara morfologi bergelombang lemah. Satuan ini menempati ketinggian kurang dari 25 - 225 m dpl, secara umum melandai ke arah timur (pantai) dengan kemiringan lerengnya kurang dari 2° setempat 2 – 6°, dimana sungai-sungainya memperlihatkan pola

aliran sudendritik sampai subparalel. Bentang alam ini tersusun oleh Tuf Rabano dan batuan gunungapi.

d. Morfologi Dataran Tinggi

Satuan morfologi ini merupakan daerah dataran antar perbukitan. Sidodado dan Sidoluhur Kec.Lawang Kab. Malang. Satuan ini menempati ketinggian 500 - 625 m dpl, secara umum melandai ke arah timur laut dengan kemiringan lerengnya 2 - 6°.

e. Morfologi Gunungapi

Sebaran morfologi ini menempati bagian barat dan selatan daerah penelitian, dengan puncak-puncaknya antara lain G. Arjuno (3.390 m dpl), G. Welirang (3156 m dpl).

Morfologi gunungapi ini dibagi dalam 3 (tiga) satuan morfologi, yaitu morfologi puncak, tubuh dan lerengkaki gunungapi.

1) Morfologi Puncak Gunungapi

Satuan ini menempati ketinggian sekitar 325 – 3.390 m dpl dengan kemiringan lereng lebih dari 25°, setempat 9 – 25°. Sungai di daerah ini merupakan bagian hulu dari sungai yang mengalir di CAT Pasuruan, umumnya berair sesaat setelah turun hujan (*ephemeral stream*).

2) Morfologi Tubuh Gunungapi

Satuan ini menempati ketinggian sekitar 225 – 550 m dpl dengan kemiringan lereng 9 – 25°, setempat lebih dari 25°. Sungai di daerah ini bersifat musiman (*intermittent stream*) atau berair pada saat musim hujan.

3) Morfologi Lerengkaki Gunungapi

Satuan ini menempati ketinggian sekitar 50 – 225 m dpl dengan kemiringan lereng 6 – 9°, setempat 2 - 6°.

2.19.3 Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Kabupaten Pasuruan Cekungan Air Tanah Pasuruan secara umum tersusun oleh Batuan Sedimen Kuarter, Batuan Gunungapi Kuarter dan Aluvium.

a. Batuan Sedimen Kuarter

Batuan sedimen kuarter ini terdiri dari Formasi Kabuh yang terbentuk pada kala Plistosen Bawah sampai Tengah dan Formasi Jombang yang berumur Plistosen Tengah. Formasi batuan ini telah mengalami tektonik sehingga terbentuk struktur lipatan antiklin.

Formasi Kabuh, terdiri dari batupasir tufan, batulempung tufan, batupasir gampingan, konglomerat, lempung dan tuf.

Formasi Jombang, terdiri dari breksi, batupasir tufan, batulempung tufan, lempung, batugamping dan tuf.

b. Batuan Gunungapi Kuarter

Batuan gunungapi terdiri dari Batuan Gunungapi Kuarter Bawah, Tengah dan Atas, Batuan Gunungapi Arjuno-Welirang dan Batuan Gunungapi Tengger, kemudian Tuf Malang dan Tuf Rabano. Batuan gunungapi ini sebarannya dominan di daerah penelitian mencakup lebih dari 80 persen.

Batuan Gunungapi Kuarter ini terdiri dari :

- 1) Batuan Gunungapi Kuarter Bawah, terdiri dari breksi gunungapi, breksi tuf, lava, tuf dan aglomerat.
- 2) Batuan Gunungapi Kuarter Tengah, terdiri dari breksi gunungapi, tuf, lava, aglomerat dan lahar.
- 3) Batuan Gunungapi Kuarter Atas, terdiri dari breksi gunungapi, lava, tuf, breksi tufan, aglomerat dan lahar.
- 4) Batuan Gunungapi Arjuno-Welirang, terdiri dari breksi gunungapi, lava, breksi tufan dan tuf.
- 5) Batuan Gunungapi Tengger, terdiri dari tuf pasir, tuf batuapung, tuf abu dan aglomerat.
- 6) Tuf Malang, terdiri dari tuf batuapung, tuf pasir, tuf breksi, tuf halus dan tuf lapili.
- 7) Tuf Rabano, terdiri dari tuf pasir, tuf batuapung, breksi tufan dan tuf halus abu.

c. Aluvium

Aluvium ini merupakan material lepas berukuran lempung sampai kerakal dari hasil erosi beberapa sungai yang mengalir dari barat ke timur.

2.20 Penentuan Daerah Imbuhan CAT Pasuruan

Penentuan daerah imbuhan CAT Pasuruan melalui beberapa tahapan analisis yang dilakukan secara runtut. Langkah analisis yang dilakukan dimulai dari mengidentifikasi, mengolah dan menganalisis parameter-parameter yang mempengaruhi. Penentuan parameter ini berdasarkan oleh Panduan Teknis Pengelolaan Air Tanah, 2007. Parameter yang mempengaruhi dalam penentuan daerah imbuhan CAT Pasuruan, adalah :

a. Kemiringan Lahan

Kemiringan lahan sebagai parameter untuk penentuan daerah imbuhan sebagai kawasan resapan air dan kawasan konservasi memiliki pengaruh yang berbeda terhadap 2 kepentingan tersebut. Untuk kepentingan resapan air semakin besar kemiringan semakin kecil jumlah air yang meresap tetapi akan semakin penting atau perlu untuk dikonservasi. Dan sebaliknya untuk kepentingan konservasi kemiringan lahan yang semakin besar maka perlu untuk dijaga. lebih ditekankan pada kepentingan konservasi air daripada untuk kepentingan pemanfaatan, sehingga secara umum biasanya daerah resapan berada di daerah dengan kemiringan yang relatif besar.

Dalam penentuan daerah imbuhan dalam penelitian ini menggunakan metode yang dijelaskan dalam Permen ESDM Nomor 13 Tahun 2009, salah satunya berdasarkan tekuk lereng. Hal ini dikarenakan CAT Pasuruan yang dikelilingi oleh gunungapi. Tekuk lereng merupakan batas antara morfologi dataran dengan perbukitan, pada umumnya merupakan daerah kaki bukit atau kaki pegunungan. Daerah imbuhan air tanah pada umumnya terletak di atas tekuk lereng, biasanya berupa morfologi perbukitan, pegunungan, atau tubuh dan puncak gunung api. Adapun daerah lepasan air tanah terletak di bawah tekuk lereng biasanya berupa morfologi dataran. Dari ilustrasi tersebut, maka kemiringan lahan sebagai parameter utama dalam penentuan

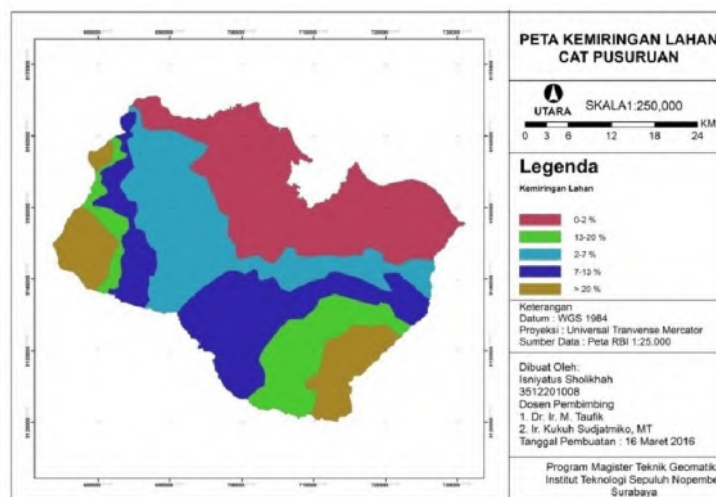
daerah imbuhan memiliki kriteria dengan skala intensitas sebagai berikut:

Tabel 2.3 Pemberian Skor Untuk Parameter Morfologi

Parameter	Kriteria		Skala Intensitas	
Kemiringan Lahan (Morfologi)	< 8 %	Datar	Sangat Rendah	1
	8 – 15 %	Berombak-Bergelombang	Rendah	2
	15 – 25 %	Berbukit-pegunungan	Sedang	3
	25 – 40 %	Pegunungan curam	Tinggi	4
	> 40 %	Sangat Curam	Sangat Tinggi	5

Sumber : Van Zuidam (1985)

Berikut ini Peta Kemiringan Lahan CAT Pasuruan dari hasil pengolahan:



Gambar 2.5 Peta Kemiringan Lahan CAT Pasuruan

b. Litologi

Litologi menjadi parameter yang mempengaruhi dalam penentuan daerah imbuhan di CAT Pasuruan dimana menyangkut kemampuan suatu batuan sebagai media untuk menyimpan dan meloloskan air.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Malang, secara umum CAT Pasuruan memiliki litologi yang terdiri dari alluvial, batu

gunungapi, dan sedimen. Sedangkan korelasi satuan litostratigrafi dan satuan hidrostratigrafi adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 korelasi satuan litostratigrafi dan satuan hidrostratigrafi

Z	Kala		Satuan Litostratigrafi			Satuan Hidrostratigrafi			
Kuartar	Holosen		Aluvium			Akuifer tidak tertekan , semi tertekan dan tertekan (media antar butir)			
	Plistosen	Akhir	Tuf Malang	Tuf Rabano	Batuan Gn. api Kuartar Atas	Batuan Gn. api Arjuno-Welirang	Batuan Gn. api Tengg er	Akuifer tidak tertekan, semi tertekan dan tertekan (media celahan dan antar butir)	- Akuifer tidak tertekan, semi tertekan dan tertekan (media celahan dan antar butir) - Akuifug
		Tengah	F. Jombang		Batuan Gunungapi Kuartar Tengah			- Akuifer tidak tertekan, semi tertekan dan tertekan (media celahan dan antar butir) - Akuitar	- Akuifer tidak tertekan, semi tertekan dan tertekan (media celahan dan antar butir) - Akuifug
			F. Kabuh		Batuan Gunungapi Kuartar Bawah				
		Awal							

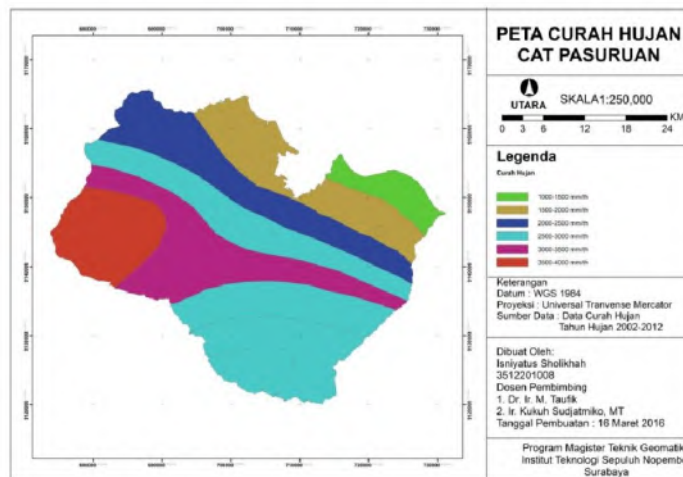
Sumber : Peta Geologi Lembar Malang, Santosa, S dan Suwarti, T., 1992

Tabel 2.6 Pemberian Skor Untuk Parameter Curah Hujan

Parameter	Kriteria (mm/thn)	Skala Intensitas	
Curah Hujan	> 4000	Sangat Tinggi	
	3000 - 4000	Tinggi	
	2000 – 3000	Sedang	
	1000 – 2000	Rendah	
	<1000	Sangat Rendah	

Sumber : Panduan Teknis Pengelolaan Air Tanah, 2007

Berikut ini Peta Curah Hujan CAT Pasuruan dari hasil pengolahan,



Gambar 2.7 Peta Curah Hujan CAT Pasuruan

Dalam penelitian ini penentuan daerah imbuhan dilakukan dengan penggabungan beberapa parameter yang mempengaruhi daerah imbuhan. penggabungan parameter tersebut dengan menggunakan *overlay weighted sum*/ sistem tumpang susun dari parameter yang mempengaruhi.

Masing-masing parameter mempunyai pengaruh terhadap resapan air ke dalam tanah yang dibedakan dengan nilai bobot. Parameter yang mempunyai nilai bobot paling tinggi merupakan parameter yang paling menentukan kemampuan

peresapan untuk menambah air tanah secara alamiah pada suatu cekungan air tanah. Penentuan daerah imbuhan yaitu menjumlahkan hasil perkalian antara nilai bobot dan nilai peringkat pada setiap parameter.

$$\text{Nilai imbuhan} = K_b \cdot K_p + P_b \cdot P_p + S_b \cdot S_p + L_b \cdot L_p \quad (4.1)$$

K = Kelulusan batuan

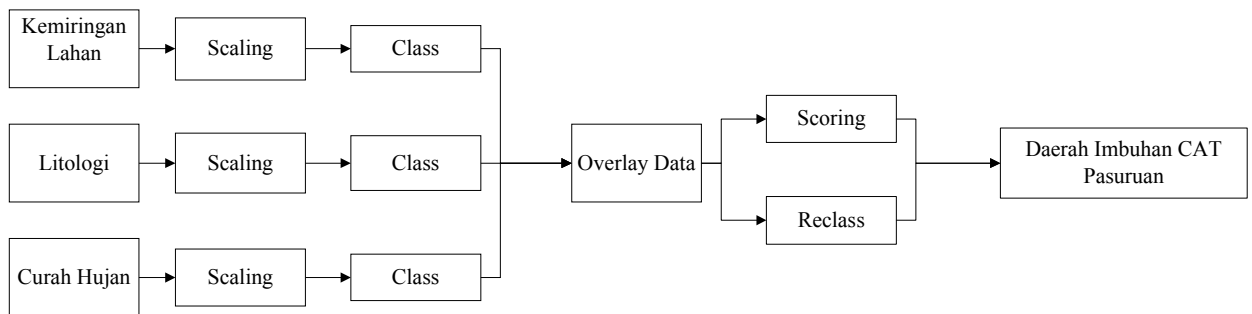
P = Curah hujan rata-rata tahunan

S = Tanah penutup

L = Kemiringan lereng

b = Nilai bobot

p = Nilai peringkat



Gambar 2.8 Diagram Proses Overlay *Weighted Sum* Penentuan Daerah Imbuhan

2.21 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai Analisa kawasan peresapan air bawah tanah dengan metode multi level di Gunung Bromo Kabupaten Probolinggo dilakukan oleh Diah. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk memetakan analisa daerah perkiraan prospektif dan berpotensi sebagai kawasan resapan air tanah . metode yang digunakan adalah mencari kaitan antara singkapan batuan, vegetasi, air melalui nilai spektral dengan klasifikasi multi spektral. Dimana klasifikasi sebaran batuan menggunakan metode multi spektral dengan pembuatan citra komposit dari penggabungan 3 saluran hasil penisbahan (band rasio) $R = 5/7$, $G =$

3/1 , $B = 3/5$, hasil klasifikasi kemudian dikoreksi dengan peta geologi. Sedangkan klasifikasi vegetasi tutupan lahan pada citra dengan filtering, band ratio dan transformasi index vegetasi dengan menggunakan 3 metode, yaitu Ratio Vegetation Index (RVI), Transformed Vegetation Index (RVI), serta Vegetation Index Faster (VIF). Hasil dari klasifikasi beberapa kelas tutupan lahan dengan kriteria vegetasi rapat, sedang, dan tinggi.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Sony (2006), tentang pengembangan citra landsat 7 ETM untuk menduga keberadaan air tanah. Tujuan penelitiannya adalah untuk mengevaluasi akurasi yang diberikan oleh citra satelit landsat, untuk evaluasi kelebihan dan kelemahan penggunaan citra sebagai sumber data utama untuk pembuatan sumur PPAT, dan membandingkan akurasi data peta potensi air tanah yang diperoleh dengan peta hidrogeologi. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan data citra satelit untuk mendeteksi sebaran batuan, jenis vegetasi penutup lahan, dan pola aliran sungai.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

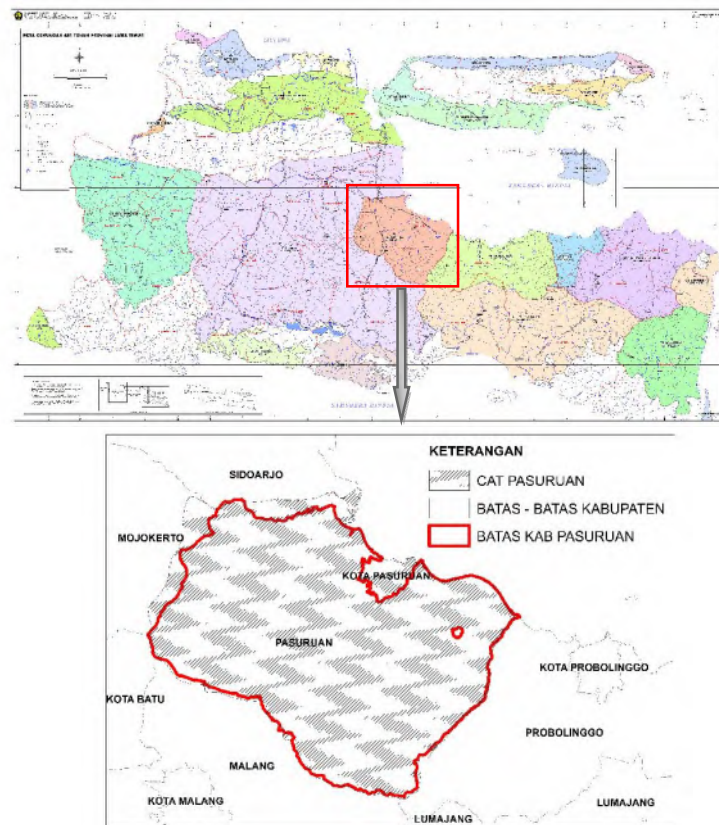
BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di wilayah Cekungan Air Tanah tepatnya pada batas administrasi Kabupaten Pasuruan. Secara geografis daerah penelitian ini terletak di $7^{\circ}31'55''$ - $7^{\circ}36'39''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}05'11''$ - $112^{\circ}05'11''$ Bujur Timur.

Secara administrasi wilayah CAT Pasuruan yang diusulkan terletak pada 4 (Empat) Kabupaten / Kota, yakni : Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Pasuruan, Kota Pasuruan, Kabupaten Ponorogo. Pada penelitian ini, wilayah yang akan dilakukan kajian adalah CAT Pasuruan pada batas administrasi Kabupaten Pasuruan.



Gambar 3.1 Gambar Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Data

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Software pengolah citra

Aplikasi ini digunakan untuk pemrosesan data citra Landsat.

2. ArcMap 10

Aplikasi ini digunakan pengolahan dalam *scoring* dan untuk membuat tampilan peta

3.2.2 Data

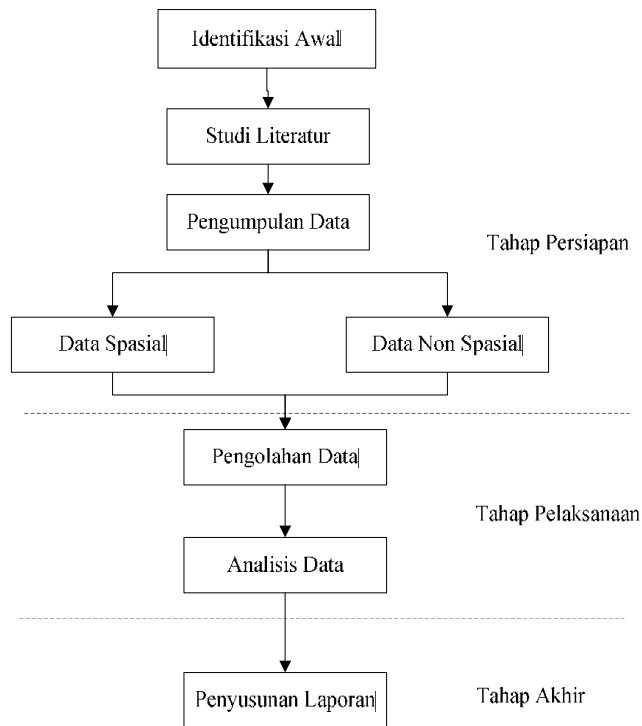
Data yang digunakan untuk penelitian ini terdiri dari :

1. Citra satelit Landsat 7 ETM+ Tahun 2003 path/raw 118/065 akuisis data 22 Mei 2003
2. Citra satelit Landsat 8 Tahun 2014 path/raw 118/065 akuisis data 1 September 2014
3. Peta Administrasi Kabupaten Pasuruan skala 1: 25.000
4. Peta Geologi Kabupaten Pasuruan lembar Malang dan Probolinggo skala 1 : 25.000
5. Peta Curah Hujan Kabupaten Pasuruan Skala 1: 250.000
6. Peta RBI lembar Pasuruan Skala 1: 25.000
7. Peta Kontur Kabupaten Pasuruan Skala 1: 25.000
8. Peta CAT Jawa Timur skala 1:250.000

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahap Penelitian

Tahapan yang akan dilaksanakan dalam kegiatan penelitian ini adalah seperti pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Berikut adalah penjelasan diagram alir metode penelitian:

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini, kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah :

➤ Identifikasi Awal

Identifikasi Awal, bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan. Permasalahan dalam penelitian ini bagaimana menentukan daerah imbuhan pada Cekungan Air Tanah Pasuruan, bagaimana mengetahui perubahan daerah imbuhan di Cekungan Air Tanah Pasuruan, Bagaimana prediksi ke depan daerah imbuhan dengan mengacu pada hasil pengolahan di Cekungan Air Tanah Pasuruan.

➤ Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan pembuatan kegiatan penelitian ini. Studi literatur yang dilakukan terdiri dari dua bagian yaitu :

1. Studi literatur teknis.

Studi yang dilakukan dalam hal ini adalah mencari sumber literatur yang berkaitan dengan bagaimana menentukan bagaimana menentukan daerah imbuhan di Cekungan Air Tanah Pasuruan.

2. Studi literatur non – teknis.

Studi yang dilakukan dalam hal ini adalah mencari sumber literatur yang berkaitan dengan bidang – bidang keilmuan atau teori yang mendasari penelitian ini.

➤ Pengumpulan Data

Pengumpulan Data, dilakukan pengumpulan data-data yang diperlukan dalam pengerjaan penelitian ini. Data yang diambil berupa data spasial dan data non spasial. Data tersebut terkait dengan faktor yang memengaruhi dalam penentuan daerah imbuhan di Cekungan Air Tanah Pasuruan, meliputi : litologi, curah hujan, dan kemiringan lahan.

2. Tahap Pelaksanaan

Kegiatan yang dilakukan pada tahap pelaksanaan ini adalah :

➤ Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data yang didapatkan dari data citra dan dilakukan pemotongan citra dan teknik perbaikan citra dengan batas Cekungan Air Tanah Pasuruan untuk dilakukan analisa.

➤ Analisa

Pada tahap ini data yang telah diolah akan dianalisa untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan. Pada tahapan ini

dilakukan suatu analisa yakni bagaimana menentukan daerah imbuhan pada Cekungan Air Tanah Pasuruan, bagaimana mengetahui perubahan daerah imbuhan di Cekungan Air Tanah Pasuruan, Bagaimana prediksi ke depan daerah imbuhan dengan mengacu pada hasil pengolahan di Cekungan Air Tanah Pasuruan.

3. Tahap Akhir

Penyusunan laporan merupakan tahap akhir dari penelitian tesis ini.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data

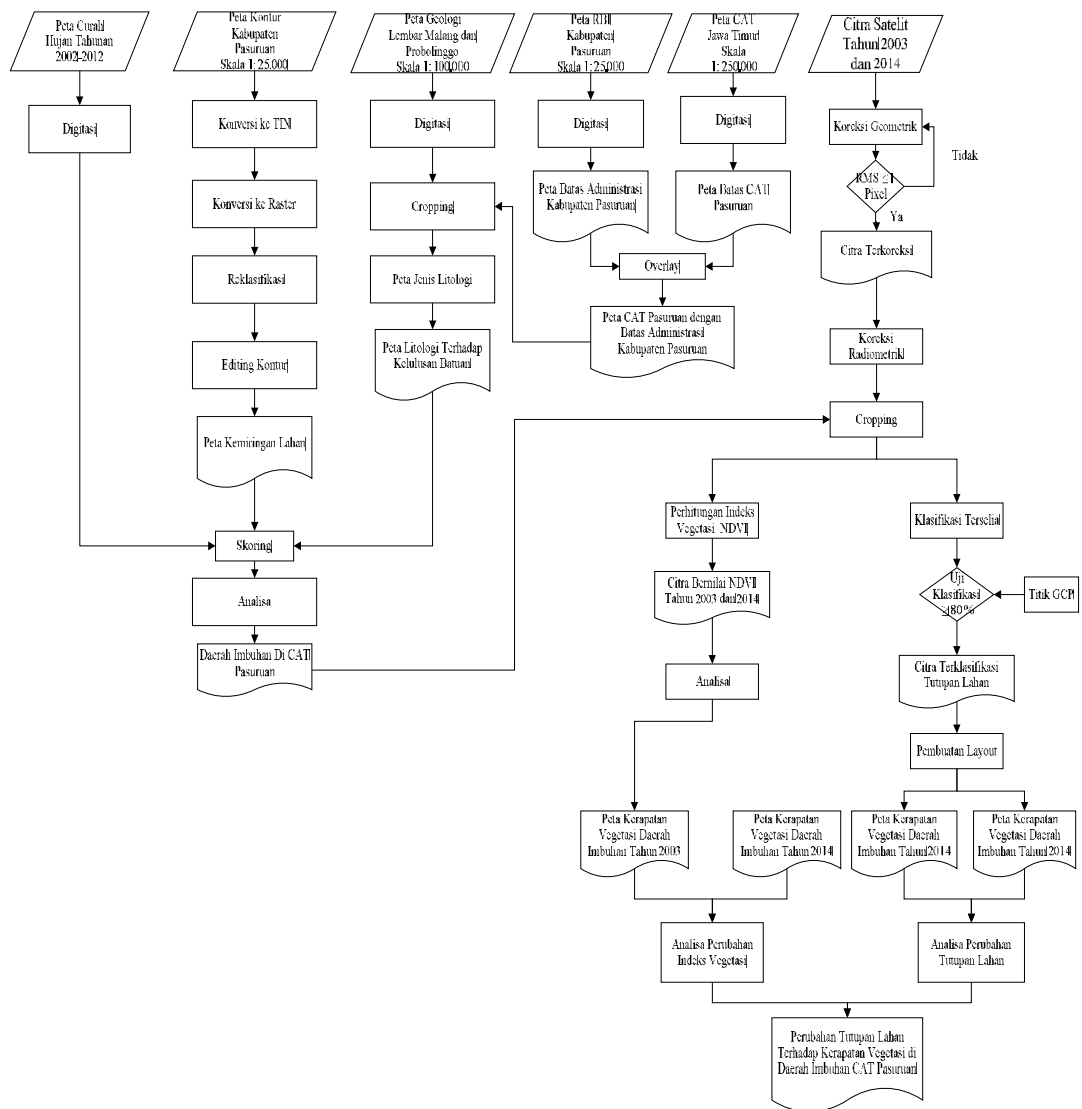
Tahapan pengolahan data yang akan dilaksanakan dalam kegiatan penelitian ini akan dijelaskan pada Gambar 3.3.

Penjelasan dari diagram alir pengolahan studi tentang daerah imbuhan di Cekungan Air Tanah Pasuruan adalah sebagai berikut :

1. Peta yang digunakan adalah Peta Vektor Kabupaten Pasuruan dengan Skala 1: 25.000, Peta CAT Jawa Timur Skala 1:250.000, Peta Geologi Kabupaten Pasuruan lembar Malang dan Probolinggo dengan Skala 1: 100.000, Peta Curah Hujan Kabupaten Pasuruan, dan Peta Kontur Kab Pasuruan Skala 1:25000
2. Data yang telah diperlukan tersebut selanjutnya dilakukan scoring dengan Skoring dengan metode *Overlay Weighted Sum*. Dan menghasilkan Peta Daerah Imbuhan di CAT Pasuruan.
3. Citra Satelit dilakukan koreksi geometrik, apabila RMS error kurang dari 1 piksel maka dilakukan koreksi geometrik kembali. Data citra satelit yang digunakan awalnya menggunakan data citra satelit Landsat 7 ETM+ tahun 2002, 2007 dan 2012. Namun karena adanya kerusakan sensor pada citra landsat ditahun tersebut, sehingga penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat 7 ETM+ tahun 2003 dan

2014 dengan menggunakan acuan jangka pembangunan 10 tahun.

4. Citra Satelit dilakukan koreksi radiometrik untuk mengubah nilai DN menjadi Reflectan, Kemudian dari citra yang telah dikoreksi tersebut dilakukan pemotongan (*cropping*) sesuai lokasi penelitian
5. Citra yang sudah terpotong sesuai lokasi penelitian, selanjutnya dilakukan perhitungan indeks vegetasi dengan algoritma NDVI, sehingga didapatkan citra bernilai indeks vegetasi dan dilakukan klasifikasi tutupan lahan, sehingga didapatkan peta tutupan lahan.
6. Setelah mendapatkan nilai indeks vegetasi di CAT Pasuruan Tahun 2003 dan 2014. Selanjutnya dianalisa dengan Peta Daerah Imbuhan di CAT Pasuruan, sehingga menghasilkan Peta Perubahan Daerah Imbuhan di CAT Pasuruan.
7. Peta Perubahan Daerah Imbuhan di CAT Pasuruan selanjutnya di analisa dengan persamaan regresi linier sehingga dapat diketahui prediksi ke depan daerah imbuhan di Cekungan Air Tanah Pasuruan.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

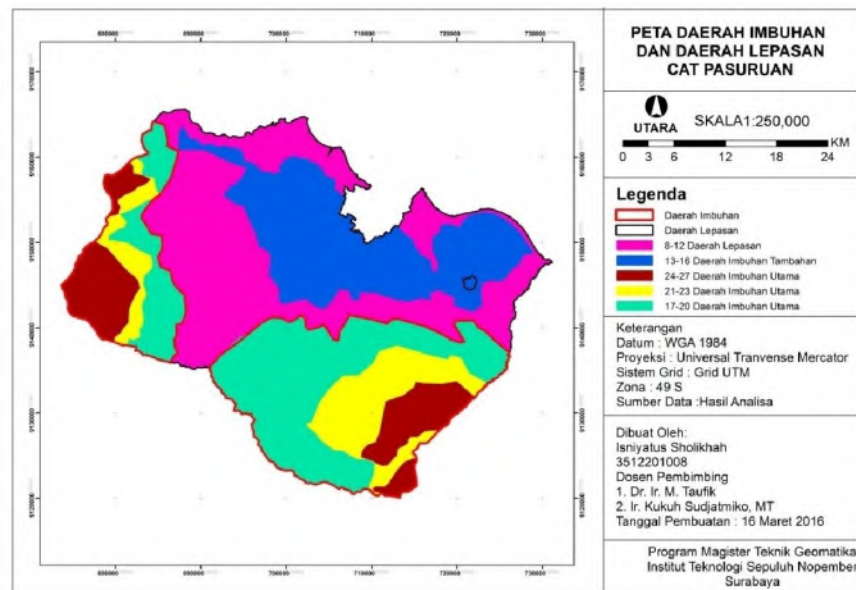
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Daerah Imbuhan CAT Pasuruhan

4.1.1 Penentuan Daerah Imbuhan

Dari pengolahan data Skoring dengan metode *Overlay Weighted Sum* dihasilkan Peta Klasifikasi Daerah Imbuhan di CAT Pasuruan, seperti gambar berikut :



Gambar 4.1 Hasil Analisa Klasifikasi Daerah imbuhan dan Daerah Lepas CAT Pasuruhan

Dari gambar diatas, dapat diketahui bahwa:

a. Daerah imbuhan utama

Daerah ini memiliki nilai imbuhan 24-17, artinya daerah ini merupakan daerah imbuhan yang paling penting dalam sistem Hidrogeologi CAT Pasuruhan dan sebagai kawasan konservasi yang mampu menambah air tanah secara alami pada CAT. Daerah imbuhan (*recharge*) memiliki fungsi utama melindungi sumber air.

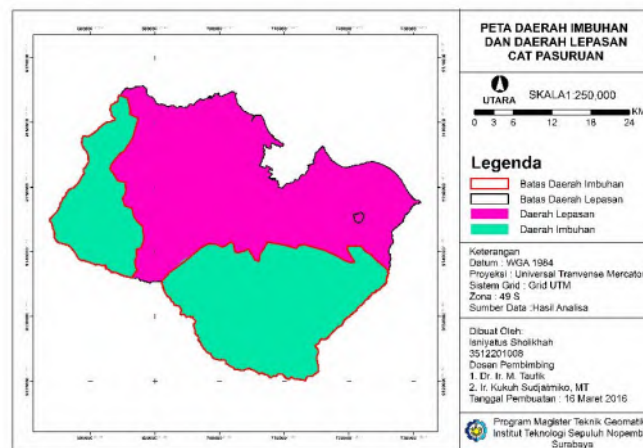
b. Daerah imbuhan tambahan

Daerah ini memiliki nilai imbuhan 16-13, artinya daerah ini merupakan daerah yang masih berkontribusi dalam menambah air tanah secara alami pada CAT.

c. Daerah imbuhan tidak berarti / Daerah Lepas

Daerah ini memiliki nilai < 13 artinya daerah ini merupakan daerah lepasan atau daerah keluaran alami CAT Pasuruan. Daerah lepasan air tanah (*discharge*) merupakan kawasan budidaya atas dasar kondisi dan potensi sumber daya alam, sumber daya manusia dan sumber daya buatan.

Dari hasil klasifikasi daerah imbuhan tersebut, maka penentuan daerah imbuhan dan lepasan di CAT Pasuruan, dapat dilihat pada gambar di bawah ini (lampiran4) :



Gambar 4.2 Peta Daerah imbuhan CAT Pasuruan

4.1.2 Uji Validasi Daerah Imbuhan

Uji validasi daerah imbuhan didapatkan dengan mengoverlaykan Peta Daerah imbuhan CAT Pasuruan hasil pengolahan dengan Peta Cekungan Air Tanah Di Jawa Timur (berdasarkan KEPMEN ESDM No. 716.K/40/MEM2003) yang sebagai acuan. Maka didapatkan hasil bahwa daerah imbuhan hasil pengolahan dengan peta aktual (Peta Cekungan Air Tanah Di Jawa Timur) memiliki keakurasian sebesar 84,23%. Prosentase keakuratan penentuan daerah imbuhan dengan 3 (tiga) parameter

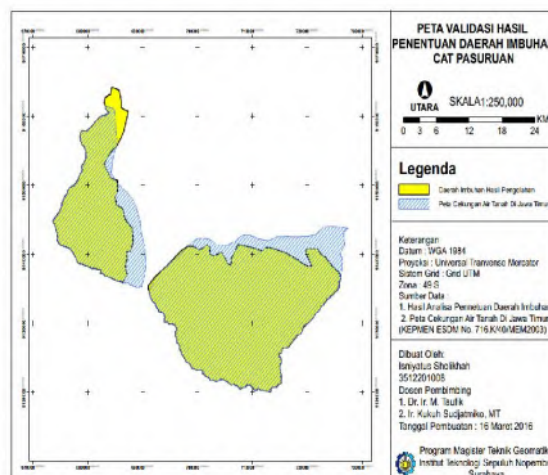
didasarkan dari tabulasi silang antara peta hasil analisa dengan peta acuan, dimana hasil ketelitian yang didapatkan sebesar 84,23%. Presentase tersebut didasarkan dari jumlah luasan peta hasil analisa yang sesuai dengan peta acuan (67621,39 Ha) dari 80284,60%. Dimana batas toleransi yang diberikan yaitu $\geq 80\%$.

Hal ini menunjukkan bahwa peta imbuhan hasil analisa dengan parameter kemiringan lahan, litologi, dan curah hujan dapat dijadikan sebagai peta acuan dalam dalam pengolahan selanjutnya. Selain itu 3 (tiga) parameter yang digunakan cukup mewakili dalam penentuan daerah imbuhan.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Validasi Peta Imbuhan Hasil Pengolahan dengan Peta Imbuhan dari Badan Geologi

Peta Hasil Analisa	Peta Imbuhan Badan Geologi		
	Tidak Sesuai (Ha)	Sesuai(Ha)	Jumlah
Tidak Sesuai (Ha)	12663,21	0	
Sesuai (Ha)	0	67621,39	
Jumlah	12663,21	67621,39	80284,60
Prosentase (%)	15,77	84,23	

Berikut ini peta validasi hasil penentuan daerah imbuhan dengan (Peta Cekungan Air Tanah Di Jawa Timur (berdasarkan KEPMEN ESDM No. 716.K/40/MEM2003):

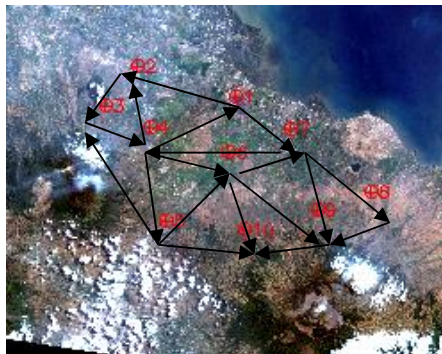


Gambar 4.3 Peta Validasi Hasil Penentuan Daerah Imbuhan

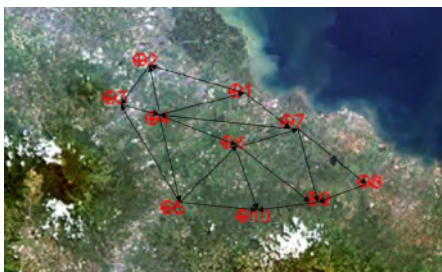
4.2 Hasil Pengolahan Citra

4.2.1 Koreksi Geometrik

4.2.1.1 Perhitungan Kekuatan Jaringan Titik Kontrol



Gambar 4.4 Desain Jaringan Titik Kontrol Citra Landsat 7 ETM+



Gambar 4.5 Desain Jaringan Titik Kontrol Citra Landsat 8

Perhitungan SOF (*Strength of Figure*) jaringan tersebut adalah sebagai berikut (lampiran 1) :

Jumlah *Baseline* : 19
Jumlah Titik : 10
N Ukuran : Jumlah *Baseline* x 3 = 57
N parameter : Jumlah Titik X 3 = 30
U (Ukuran Lebih) : N ukuran – N parameter
= 57 – 30 = 27

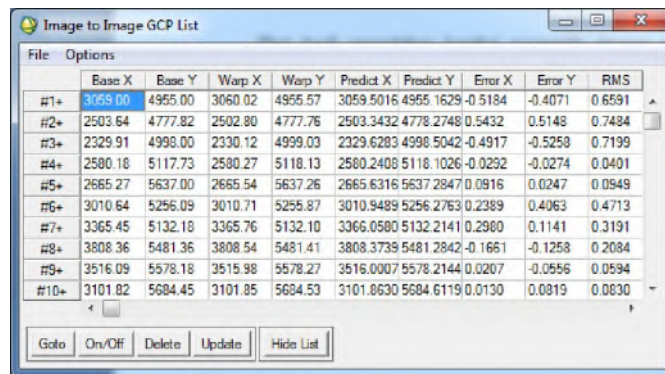
Besar SoF = $[Trace (A^T \cdot A)^{-1}] / U = 0.2576$

Nilai *Strength of Figure* yang memenuhi syarat adalah kurang dari 1, artinya semakin kecil faktor bilangan *Strength of Figure* maka semakin baik pula konfigurasi jaringan dari jaringan tersebut dan sebaliknya (Abidin, 2002). Sehingga hasil perhitungan SOF pada Penelitian ini telah masuk toleransi yang disyaratkan yaitu kurang dari 1 piksel.

4.2.1.2 Penentuan titik kontrol dan nilai RMS Error

Koreksi geometrik ini dilakukan untuk meregistrasi citra dengan menempatkan posisi piksel pada citra sedemikian rupa sehingga diperoleh citra dengan kenampakan sesuai dengan kenyataan sebenarnya. Koreksi geometrik yang dilakukan pada citra Landsat tahun 2003 dan 2014 dengan resolusi 30 meter dengan citra orthometrik tahun 2000. Keakurasian koreksi geometrik disajikan oleh standar deviasi (Root Mean Square = RMS) per unit piksel pada citra. Hasil dari koreksi geometrik pada citra memiliki nilai RMS Error harus kurang dari sama dengan satu ($\text{RMSerror} \leq 1$) piksel, maka citra tersebut telah terkoreksi secara geometrik. (Purwadhi, 2001). Koreksi geometrik menggunakan teknik registrasi “Select GCP: image to image” pada software pengolahan citra. Berikut ini tabel hasil perhitungan RMS Error.

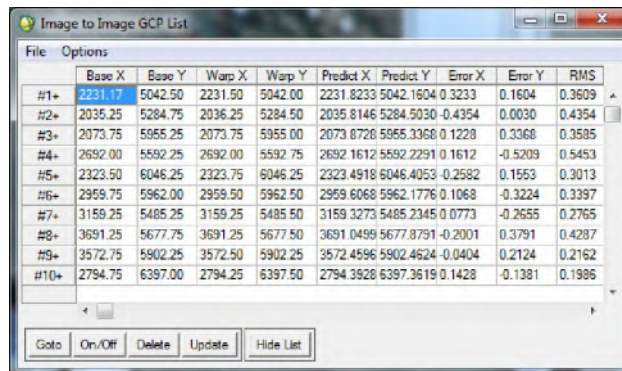
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan RMS Error Pada Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2003



	Base X	Base Y	Warp X	Warp Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	3069.00	4955.00	3060.02	4955.57	3059.5016	4955.1629	-0.5184	-0.4071	0.6591
#2+	2503.64	4777.82	2502.80	4777.76	2503.3432	4778.2748	0.5432	0.5148	0.7484
#3+	2329.91	4998.00	2330.12	4999.03	2329.6283	4998.5042	-0.4917	-0.5258	0.7199
#4+	2580.18	5117.73	2580.27	5118.13	2580.2408	5118.1026	-0.0292	-0.0274	0.0401
#5+	2665.27	5637.00	2665.54	5637.26	2665.6316	5637.2847	0.0916	0.0247	0.0949
#6+	3010.64	5256.09	3010.71	5255.87	3010.9489	5256.2763	0.2389	0.4063	0.4713
#7+	3365.45	5132.18	3365.76	5132.10	3366.0580	5132.2141	0.2960	0.1141	0.3191
#8+	3808.36	5481.36	3808.54	5481.41	3808.3739	5481.2842	-0.1661	-0.1258	0.2084
#9+	3516.09	5578.18	3515.98	5578.27	3516.0007	5578.2144	0.0207	-0.0556	0.0594
#10+	3101.82	5684.45	3101.85	5684.53	3101.8630	5684.6119	0.0130	0.0819	0.0830

Dari hasil pengolahan koreksi geometrik dengan menggunakan 10 titik GCP yang tersebar, nilai RMSerror adalah 0,436027. RMSerror pada citra Landsat 7 ETM tahun 2003 hasil pengolahan data masing-masing memiliki nilai kurang dari 1 piksel, sehingga telah memenuhi batas toleransi yang telah diberikan.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan RMS Error Pada Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2014



	Base X	Base Y	Warp X	Warp Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	2231.17	5042.50	2231.50	5042.00	2231.8233	5042.1604	0.3233	0.1604	0.3609
#2+	2035.25	5284.75	2036.25	5284.50	2035.8146	5284.5030	-0.4354	0.0030	0.4354
#3+	2073.75	5595.25	2073.75	5595.00	2073.8728	5595.3368	0.1228	0.3368	0.3585
#4+	2692.00	5592.25	2692.00	5592.75	2692.1612	5592.2291	0.1612	-0.5209	0.5453
#5+	2323.50	6046.25	2323.75	6046.25	2323.4918	6046.4053	-0.2582	0.1553	0.3013
#6+	2959.75	5962.00	2959.50	5962.50	2959.6068	5962.1776	0.1068	-0.3224	0.3397
#7+	3159.25	5485.25	3159.25	5485.50	3159.3273	5485.2345	0.0773	-0.2655	0.2765
#8+	3691.25	5677.75	3691.25	5677.50	3691.0499	5677.8791	-0.2001	0.3791	0.4287
#9+	3572.75	5902.25	3572.50	5902.25	3572.4596	5902.4624	-0.0404	0.2124	0.2162
#10+	2794.75	6397.00	2794.25	6397.50	2794.3928	6397.3619	0.1428	-0.1381	0.1986

Sedangkan pengolahan koreksi geometrik pada citra satelit 8, nilai *RMSerror* adalah 0.360314. *RMSerror* pada citra Landsat 8 tahun 2014 hasil pengolahan data masing-masing memiliki nilai kurang dari 1 piksel, sehingga telah memenuhi batas toleransi yang telah diberikan.

4.2.2 Koreksi Radiometrik

Untuk mengurangi kesalahan radiometrik pada citra, serta untuk mengolah algoritma indeks vegetasi yang menggunakan data nilai reflektan dari citra. Proses konversi DN ke reflektan dibutuhkan sebagai nilai inputan pada rumusan algoritma indeks vegetasi. Sehingga untuk melakukan proses ini digunakan perhitungan yang melibatkan metadata citra.

- Transformasi Nilai DN ke nilai spektral radian diperoleh berdasarkan persamaan rumus berikut ini (sumber: USGS, 2002):

$$L\lambda = \{(L_{\max} - L_{\min}) / (Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}})\} * (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) \quad (4.1)$$

Dimana:

$L\lambda$ = Spectral Radiance in watts/(meter squared * ster * μm)

L_{MAXR} = Max Detected Radiance Level

L_{MINR} = Min Detected Radiance Level

Q_{CALMAX} = Max Pixel Value

Q_{CALMIN} = Min Pixel Value

Q_{CAL} = Digital Number

- b. Transformasi nilai Spektral Radian ke Reflektan diperoleh berdasarkan persamaan (sumber: USGS, 2002):

$$\rho = (\pi * L\lambda * d^2) / (E_{sun\lambda} * \cos\theta) \quad (4.2)$$

Dimana:

ρ = Unitless Planetary Reflectance

$L\lambda$ = Spectral Radiance at The Sensor's Aperture

d^2 = Earth-Sun Distance in Astronomical Units

$E_{sun\lambda}$ = Mean Solar Exoatmospheric Irradiances

θ = Solar Zenith Angle in Degrees

Sedangkan kalibrasi radiometrik ini menggunakan data Landsat 8 dapat dilakukan dari nilai DN ke reflectan berdasarkan persamaan (sumber: USGS, 2013) :

$$\rho\lambda = M\rho * Q_{cal} + A\rho \quad (4.3)$$

Untuk koreksi reflectan dengan solar angel dapat menggunakan persamaan :

$$\rho\lambda' = \rho\lambda / \cos\theta \quad (4.4)$$

Dimana :

$\rho\lambda$ = TOA planetary reflectance, without correction for solar angle

$\rho\lambda'$ = TOA planetary reflectance

$M\rho$ = REFLECTANCE_MULT_BAND_x, where x is the band number

$A\rho$ = REFLECTANCE_ADD_BAND_x, where x is the band number

Q_{cal} = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

θ = Solar Zenith Angle in Degrees

Tabel 4. 4 Parameter Citra Landsat 7 ETM+ Tanggal 22 Mei 2003

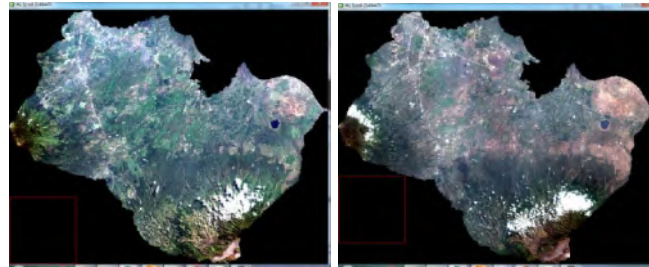
Tanggal Citra	band	Lmax	Lmin	Qcal Max	Qcal min	θ_E	θ_z	$\cos \theta$	d	E _{sun}
	3	152,900	-5,000	255	1	49,65765	40,34235	0,76219	1,012297	1551
	4	241,100	-5,100	255	1	49,65765	40,34235	0,76219	1,012297	1044

Tabel 4. 5 Parameter Citra Landsat 8 Tanggal 01 September 2014

Tanggal Citra	band	$M\rho$	$A\rho$	θ_E	θ_z	$\cos \theta$
01 September 2014	4	0,00002	-0,1	58,09553	31,90447	0,84893
	5	0,00002	-0,1	58,09553	31,90447	0,84893

4.2.3 Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan untuk lebih menfokuskan pengolahan data sesuai dengan daerah penelitian. Pemotongan ini dilakukan berdasarkan batas administrasi Kabupaten Pasuruan, dan batas daerah imbuhan dari hasil pengolahan di CAT Pasuruan. Berikut ini hasil pemotongan citra Citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8.



(a)

(b)

Gambar 4.6 Hasil Pemotongan Citra Landsat Tahun 2003 (a) dan Tahun 2014 (b) Daerah CAT Pasuruan Sesuai Batas Administrasi Kabupaten Pasuruan



(a)

(b)

Gambar 4.7 Hasil Pemotongan Citra Landsat Tahun 2003 (a) dan Tahun 2014 (b) Sesuai Batas Daerah Imbuhan Dari Hasil Pengolahan

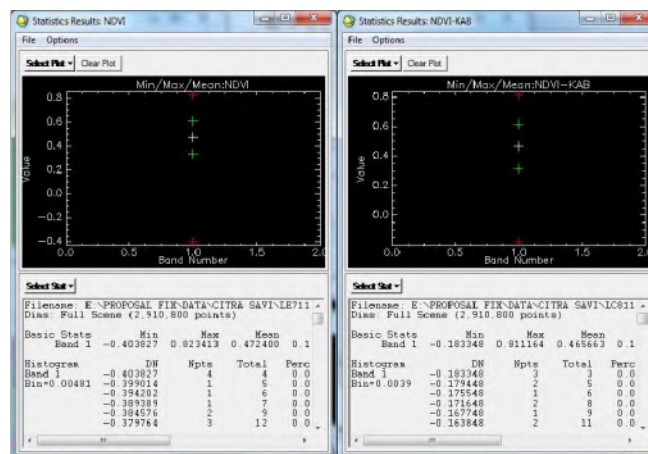
4.2.4 Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan saluran spektral yang menjadi salah satu indikator untuk mengetahui tingkat kekeringan lahan dan mengukur tingkat kehijauan atau kerapatan vegetasi pada suatu wilayah. Penentuan kelas indeks vegetasi pada algoritma NDVI mengacu pada peraturan Departemen Kehutanan tahun 2003 yang membagi kelas NDVI menjadi tiga kelas, yaitu jarang, sedang, dan rapat.

Tabel 4.6 Kisaran Tingkat Kerapatan NDVI
(Sumber Departemen Kehutanan, 2003)

Kelas	Kisaran NDVI	Tingkat Kerapatan
1	1 -1,0 s.d 0,32	Jarang
2	0,32 s.d 0,42	Sedang
3	>0,42 s.d 1	Tinggi

Berikut ini adalah hasil klasifikasi indeks vegetasi dari pengolahan NDVI Tahun 2003 dan 2014.



(a)

(b)

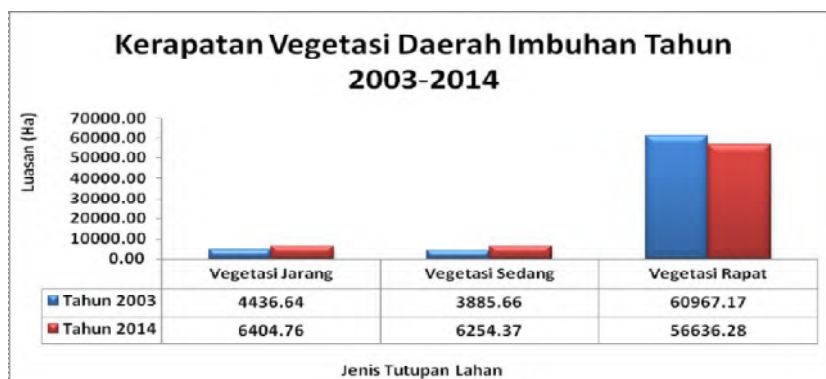
Gambar 4.8 Nilai NDVI pada Citra Landsat Tahun 2003 (a) dan Tahun 2014(b)

Variasi nilai indeks vegetasi yang berkisar antara -1 (nilai minimum) dan +1 (nilai maksimum) mencerminkan kondisi, jenis, dan karakteristik vegetasi (Ginting, 2004). Nilai indeks vegetasi bernilai positif apabila permukaan vegetasi lebih banyak memantulkan radiasi pada gelombang panjang inframerah dibandingkan dengan cahaya tampak. Indeks vegetasi yang bernilai nol apabila pemantulan energi yang direkam oleh gelombang cahaya tampak sama dengan gelombang inframerah dekat, sering terjadi di daerah pemukiman, tanah berair, daratan non vegetasi dan awan. Sedangkan indeks vegetasi negatif apabila permukaan awan dan air lebih banyak memantulkan energi gelombang cahaya tampak dibandingkan inframerah dekat (Van Dijk dalam Kushardono, 1992).

Rincian jumlah luasan keadaan vegetasi pada tahun 2003 dan 2014 berdasarkan klasifikasi kerapatan vegetasi NDVI dari hasil pengolahan di area studi penelitian ini dapat dijelaskan pada gambar grafik dan tabel dibawah ini.

Tabel 4.7 Tabel Hasil Klasifikasi Kerapatan Vegetasi Tahun 2003 dan Tahun 2014 Pada Daerah Imbuhan

Kerapatan Vegetasi	Daerah Imbuhan					
	(Ha)		(%)		Perubahan	
	Tahun 2003	Tahun 2014	Tahun 2003	Tahun 2014	(Ha)	(%)
Vegetasi Jarang	4436,64	6404,76	6,40	9,24	1968,12	2,84
Vegetasi Sedang	3885,66	6254,37	5,61	9,03	2368,71	3,42
Vegetasi Rapat	60967,17	56636,28	87,99	81,73	-4330,89	-6,26
Total	69289,47	69295,41	100,00	100,00		



Gambar 4.9 Luas Kerapatan Vegetasi Daerah Imbuhan CAT Pasuruan Tahun 2003-2014

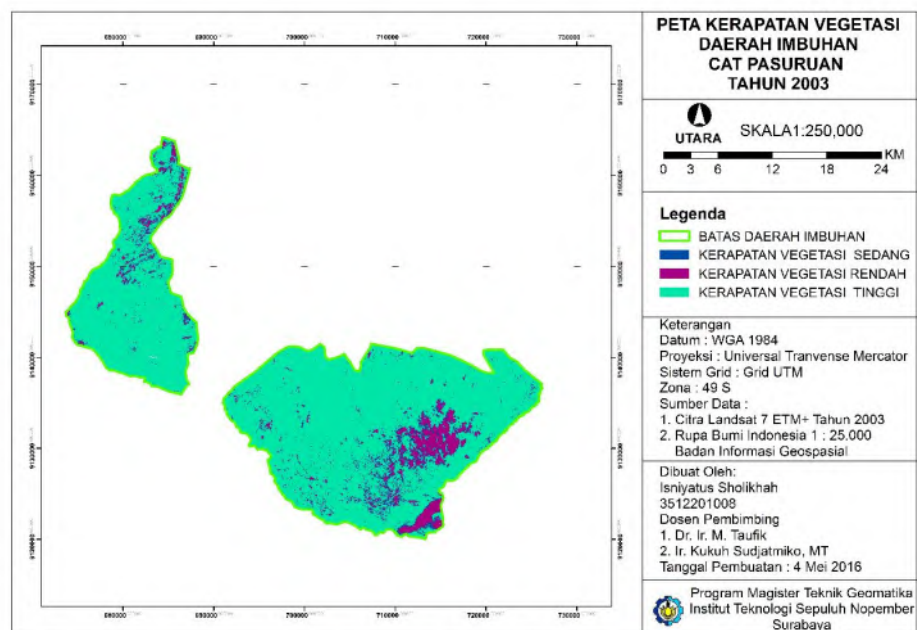
Dari hasil pengolahan kerapatan vegetasi daerah imbuhan tahun 2003-2014, dalam kurun waktu 11 tahun, kerapatan vegetasi rapat mengalami penurunan sebesar 4330,89 Ha, kerapatan vegetasi sedang mengalami peningkatan sebesar 2368,71 Ha, dan kerapatan vegetasi jarang mengalami peningkatan sebesar 1968,12Ha.

Penurunan luasan pada kerapatan vegetasi rapat dan meningkatnya luasan pada kerapatan vegetasi sedang dan jarang, ini menunjukkan bahwa adanya kegiatan penebangan vegetasi atau penggantian vegetasi, adanya alih

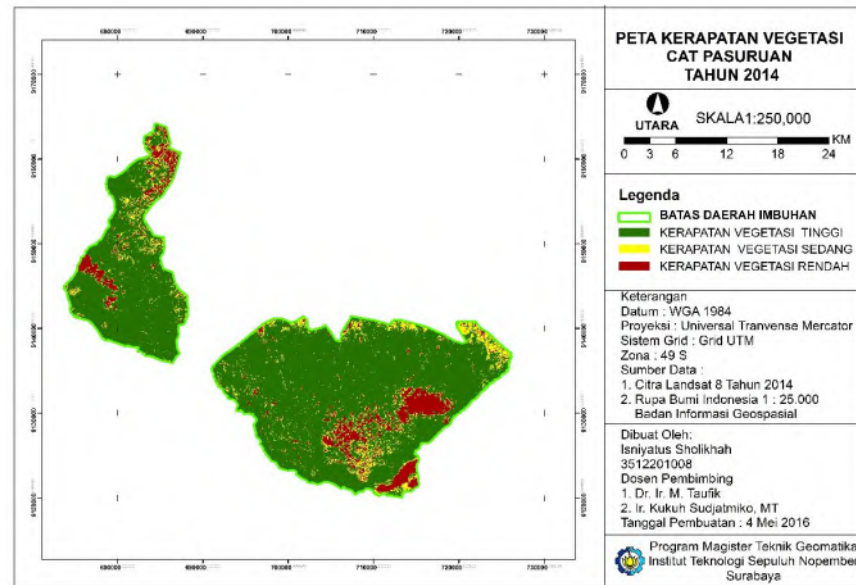
fungsi lahan maupun untuk tujuan lainnya yang menyebabkan jumlah kerapatan vegetasi berkurang.

Untuk kerapatan vegetasi yang mempengaruhi terhadap konservasi daerah imbuhan yang paling utama yaitu kerapatan tinggi, sehingga untuk memprediksi kondisi perubahan kerapatan vegetasi rapat ke depan dapat menggunakan persamaan regresi linier $y = -4330.x + 65298$

Dari persamaan regresi linier dapat diketahui prediksi kondisi perubahan kerapatan vegetasi rapat pada tahun 2025 diprediksikan menjadi 52305,39 Ha dan tahun 2030 menjadi 52176,78 Ha. Degradasi penurunan kerapatan vegetasi rapat akan terus berlangsung tidak ada langkah untuk melakukan upaya konservasi hutan. Berikut ini tampilan Peta Kerapatan Vegetasi di CAT Pasuruan Tahun 2003-2014 pada lampiran 5.



Gambar 4.10 Peta Kerapatan Vegetetasi Daerah Imbuhan Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2003

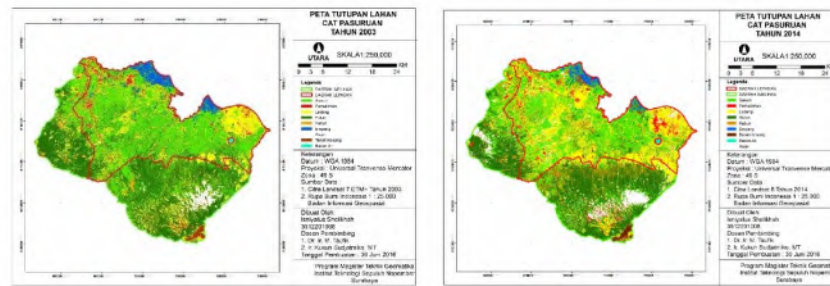


Gambar 4.11 Peta Kerapatan Vegetasi Daerah Imbuhan Citra Landsat 8 Tahun 2014

4.2.5 Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan metode klasifikasi terselia tipe maximum likelihood. Ketelitian dari pengolahan tutupan lahan dihitung dengan menggunakan confusion matrix, dimana batas toleransi yang diberikan yaitu $\geq 80\%$. Perhitungan confusion matrix dari hasil tutupan lahan pada tahun 2003 dan tahun 2014 dapat dilihat di lampiran 2, dengan nilai yang didapat masing – masing sebesar 90,75% dan 98,45%.

Perhitungan ini didasarkan dari hasil pengambilan sampel sebanyak 23 titik ground truth yang tersebar di seluruh wilayah batas administrasi Kabupaten Pasuruan. Hasil ground truth dari 27 titik sampel yang diambil terlampir di lampiran 3. Tampilan Peta Tutupan Lahan CAT Pasuruan Tahun 2003 dan Tahun 2014 terdapat pada gambar dibawah ini (lampiran 6).



(a)

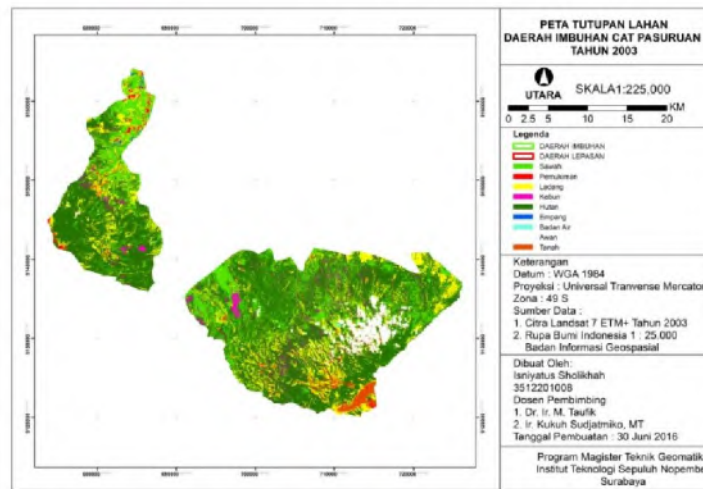
(b)

Gambar 4.12 Peta Tutupan Lahan CAT Pasuruan Tahun 2003 (a) dan Tahun 2014 (b)

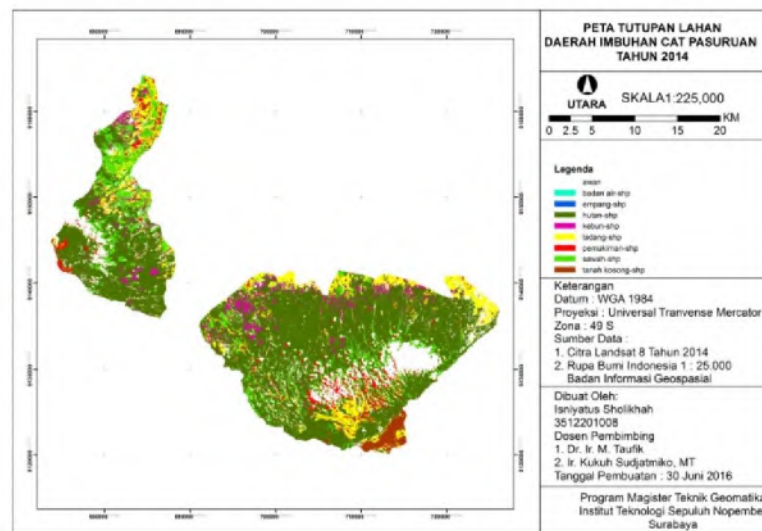
Sedangkan tutupan lahan pada daerah imbuhan Tahun 2003 – 2013 dapat dilihat pada gambar, grafik dan tabel dibawah ini.



Gambar 4.13 Luas Tutupan Lahan Dearah Imbuhan Tahun 2003-2014 Berdasarkan Klasifikasi Citra



Gambar 4.14 Peta Tutupan Lahan Daerah Imbuhan CAT Pasuruan Tahun 2003



Gambar 4.15 Peta Tutupan Lahan Daerah Imbuhan CAT Pasuruan Tahun 2014

Berikut tabel perhitungan luas tutupan lahan daerah imbuhan tahun 2003-2014, sebagai berikut :

Tabel 4.8 Perubahan Luas Tutupan Lahan Daerah Imbuhan Tahun 2003-2014

Klasifikasi	Luasan				Perubahan	
	Tahun 2003		Tahun 2014			
	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)
Sawah	13551,12	19,55	8643,87	12,41	-4907,25	-7,14
Pemukiman	1297,17	1,87	2307,96	3,31	1010,79	1,44
Ladang	10607,04	15,31	6503,13	9,34	-4103,91	-5,97
Hutan	37563,48	54,21	38133,36	54,75	569,88	0,55
Kebun	2325,69	3,36	3547,08	5,09	1221,39	1,74
Empang	114,48	0,17	14,85	0,02	-99,63	-0,14
Tanah Kosong	1002,15	1,45	1845,99	2,65	843,84	1,20
Badan Air	87,75	0,13	3,87	0,01	-83,88	-0,12
Awan	2748,78	3,97	8643,87	12,41	5895,09	8,44
Total	69297,66	100,00	69643,98	100,00		

Dari hasil pengolahan tutupan lahan daerah imbuhan tahun 2003-2014, untuk tutupan lahan yang mempengaruhi terhadap konservasi air tanah di daerah imbuhan yang paling utama yaitu hutan. Dalam kurun waktu 11 tahun, tutupan lahan hutan mengalami peningkatan sebesar 569,88 Ha. Untuk memprediksi perubahan tutupan lahan hutan ke depan dapat menggunakan persamaan regresi linier $y = 569,8x + 36994$.

Dari persamaan regresi linier dapat diketahui prediksi kondisi perubahan tutupan lahan hutan pada tahun 2025 diprediksikan menjadi 37563,88 Ha dan tahun 2030 menjadi 38720,494 Ha. Peningkatan tutupan lahan hutan ini apabila terus dijaga maka dapat menjaga konservasi air tanah di daerah imbuhan.

Penambahan luasan tutupan lahan hutan ini disebabkan karena adanya kegiatan reboisasi yang merupakan program Pemerintahan Daerah Kabupaten Pasuruan dan juga adanya program konservasi lingkungan yang dilakukan oleh Corporate Social Responsibility (CSR) Perusahaan-perusahaan air minum di Kabupaten Pasuruan.

4.2.6 Analisa Perubahan Daerah Imbuhan

Analisa perubahan daerah imbuhan ini dilihat kerapatan vegetasi dan tutupan lahan. Berikut ini tabel Hubungan kerapatan vegetasi pada tutupan lahan daerah imbuhan pada Tahun 2003 dan Tahun 2014.

Tabel 4. 9 Kerapatan Vegetasi Pada Tutupan Lahan Daerah Imbuhan Pada Tahun 2003

Klasifikasi	Kerapatan Vegetasi Tahun 2003						Total	
	Jarang	Sedang	Tinggi	Jarang	Sedang	Tinggi	(Ha)	(%)
	(Ha)			(%)				
Sawah	213,93	555,03	12773,70	4,82	14,28	20,95	13542,66	19,55
Pemukiman	870,57	369,99	56,61	19,62	9,52	0,09	1297,17	1,87
Ladang	271,26	1785,60	8550,09	6,11	45,95	14,02	10606,95	15,31
Hutan	111,42	464,40	36986,67	2,51	11,95	60,67	37562,49	54,21
Kebun	0,00	0,00	2325,69	0,00	0,00	3,81	2325,69	3,36
Empang	102,69	11,25	0,54	2,31	0,29	0,00	114,48	0,17
Tanah Kosong	850,59	113,85	37,62	19,17	2,93	0,06	1002,06	1,45
Badan Air	69,66	18,09	0,00	1,57	0,47	0,00	87,75	0,13
Awan	1946,16	567,45	234,99	43,87	14,60	0,39	2748,60	3,97
Total	4436,28	3885,66	60965,91	100,00	100,00	100,00	69287,85	100,00

Dari tabel diatas dapat dijelaskan bahwa di daerah imbuhan tahun 2003 untuk kerapatan vegetasi tinggi yang terbesar terdapat pada tutupan lahan hutan sebesar 60,67% atau 36986,67 Ha. Sedangkan pada kerapatan vegetasi sedang yang terbesar terdapat pada tutupan lahan ladang dengan presentasi 45%, atau 1785,60 Ha, dan kerapatan vegetasi rendah terbesar terdapat pada tutupan lahan awan dan pemukiman sebesar 19,62 atau 870,57 Ha. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan di daerah imbuhan sudah sesuai dengan fungsinya yakni sebagai kawasan konservasi, yang mana ditunjukkan dengan luasan yang tertinggi yakni tutupan lahan hutan pada kerapatan tinggi.

Tabel 4. 10 Kerapatan Vegetasi Pada Tutupan Lahan Daerah Imbuhan Tahun 2014

Klasifikasi	Kerapatan Vegetasi Tahun 2014						Total	
	Jarang	Sedang	Tinggi	Jarang	Sedang	Tinggi	(Ha)	(%)
	(Ha)			(%)				
Sawah	237,96	606,24	7452,27	3,72	9,69	13,16	8296,47	11,97
Pemukiman	817,38	485,91	1004,40	12,76	7,77	1,77	2307,69	3,33
Ladang	1065,60	3198,51	2238,93	16,64	51,15	3,95	6503,04	9,39
Hutan	10,62	192,60	37929,69	0,17	3,08	66,97	38132,91	55,04
Kebun	4,14	72,45	3470,49	0,06	1,16	6,13	3547,08	5,12
Empang	13,59	0,99	0,27	0,21	0,02	0,00	14,85	0,02
Tanah Kosong	1128,06	415,53	300,15	17,61	6,64	0,53	1843,74	2,66
Badan Air	3,24	0,54	0,09	0,05	0,01	0,00	3,87	0,01
Awan	3123,72	1280,88	4239,18	48,78	20,48	7,49	8643,78	12,48
Total	6404,31	6253,65	56635,47	100,00	100,00	100,00	69293,43	100,00

Dari tabel diatas dapat dijelaskan bahwa di daerah imbuhan tahun 2014 dengan kerapatan vegetasi yang terbesar terdapat pada tutupan lahan hutan sebesar 55,04% atau 37929,69Ha dari total seluruh daerah vegetasi tinggi. Sedangkan pada kerapatan vegetasi sedang yang terbesar terdapat pada tutupan lahan awan dan ladang dengan presentasi 51,15 % atau 3198,51 Ha, dan kerapatan vegetasi rendah terbesar terdapat pada tutupan lahan awan dan tanah kosong sebesar 1128,06 Ha atau 17,61%. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan di daerah imbuhan tahun 2014 sudah sesuai dengan fungsinya yakni sebagai kawasan konservasi, yang mana ditunjukkan dengan luasan yang tertinggi yakni tutupan lahan hutan pada kerapatan tinggi.Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan di daerah imbuhan sudah sesuai dengan fungsinya yakni sebagai kawasan konservasi.

Tabel 4. 11 Hubungan Kerapatan Vegetasi Pada Tutupan Lahan Daerah Imbuhan
Pada Tahun 2003 – 2014

Klasifikasi	Luasan						perubahan		
	Jarang		Sedang		Tinggi		Jarang	Sedang	Tinggi
	2003	2014	2003	2014	2003	2014	(Ha)		
Sawah	213,93	237,96	555,03	606,24	12773,70	7452,27	24,03	51,21	-5321,43
Pemukiman	870,57	817,38	369,99	485,91	56,61	1004,40	-53,19	115,92	947,79
Ladang	271,26	1065,60	1785,60	3198,51	8550,09	2238,93	794,34	1412,91	-6311,16
Hutan	111,42	10,62	464,40	192,60	36986,67	37929,69	-100,80	-271,80	943,02
Kebun	0,00	4,14	0,00	72,45	2325,69	3470,49	4,14	72,45	1144,80
Empang	102,69	13,59	11,25	0,99	0,54	0,27	-89,10	-10,26	-0,27
Tanah Kosong	850,59	1128,06	113,85	415,53	37,62	300,15	277,47	301,68	262,53
Badan Air	69,66	3,24	18,09	0,54	0,00	0,09	-66,42	-17,55	0,09
Awan	1946,16	3123,72	567,45	1280,88	234,99	4239,18	1177,56	713,43	4004,19
Total	4436,28	6404,31	3885,66	6253,65	60965,91	56635,47			

Dari hubungan perubahan tutupan lahan dan kerapatan vegetasi di daerah imbuhan tahun 2003-2014, didapat kerapatan vegetasi rapat yang mengalami kenaikan luas, yaitu pada tutupan lahan Kebun sebesar 1144,80 Ha, hutan sebesar 943,02 Ha, tutupan lahan pemukiman sebesar 947,79 Ha dan Tanah kosong sebesar 262,53 Ha, Dan mengalami peningkatan dengan kerapatan vegetasi rendah yaitu ladang sebesar 943,02Ha, tanah kosong sebesar 277,47 Ha, dan awan. Vegetasi tutupan lahan yang mendominasi di seluruh daerah imbuhan dengan vegetasi pohon mahoni, dan pohon sengon.

Hasil pengolahan menunjukkan bahwa adanya kegiatan reboisasi pada kawasan hutan yang merupakan program Pemerintahan Daerah Kabupaten Pasuruan dan juga program konservasi lingkungan yang dilakukan oleh Corporate Social Responsibility (CSR) Perusahaan-perusahaan air minum di Kabupaten Pasuruan mampu meningkatkan kerapatan vegetasi pada tutupan lahan hutan. Selain itu adanya peningkatan kegiatan penanaman vegetasi yang berproduksi yang ditunjukkan dengan bertambahnya tutupan lahan kebun. Upaya ini bertujuan untuk konservasi sumber daya air agar melindungi permukaan

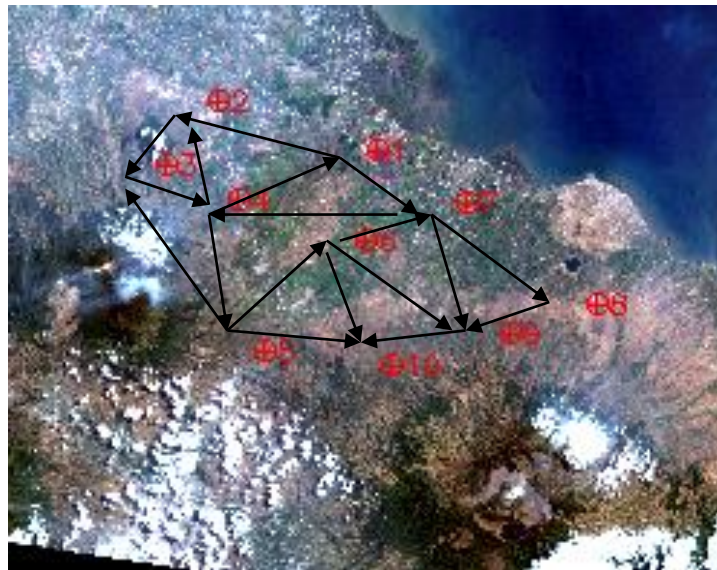
tanah dari tumbukan air hujan, menurunkan kecepatan dan volume air larian, menahan partikel –partikel tanah pada tempatnya melalui sistem perakaran dan serasah yang dihasilkan dan mempertahankan kemantapan kapasitas tanah dalam menyerap air.

Disatu sisi terdapat peningkatan luasan pada kerapatan vegetasi rendah dengan tutupan lahan pemukiman dan tanah kosong, ini menunjukkan bahwa terdapat alih fungsi lahan yang dapat mengancam kelestarian sumber daya air.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

LAMPIRAN I

Matrik Desain Untuk Perhitungan *Strength Of Figure* (SoF)



Jumlah *Baseline* : 19
 Jumlah Titik : 10
 N Ukuran : Jumlah *Baseline* x 3 = 57
 N parameter : Jumlah Titik X 3 = 30
 U (Ukuran Lebih) : N ukuran – N parameter
 = 57 – 30 = 27

No	Persamaan	No	Persamaan
1	$V_1 + B_1 = X_2 - X_1$	11	$V_{11} + B_{11} = X_9 - X_7$
2	$V_2 + B_2 = X_3 - X_2$	12	$V_{13} + B_{13} = X_8 - X_7$
3	$V_3 + B_3 = X_4 - X_3$	13	$V_{14} + B_{14} = X_9 - X_8$
4	$V_4 + B_4 = X_2 - X_4$	14	$V_{15} + B_{15} = X_9 - X_6$
5	$V_5 + B_5 = X_4 - X_1$	15	$V_{16} + B_{16} = X_{10} - X_9$
6	$V_6 + B_6 = X_7 - X_1$	16	$V_{17} + B_{17} = X_{10} - X_6$
7	$V_7 + B_7 = X_4 - X_7$	17	$V_{18} + B_{18} = X_5 - X_{10}$
8	$V_8 + B_8 = X_4 - X_5$	18	$V_{19} + B_{19} = X_6 - X_5$
9	$V_9 + B_9 = X_6 - X_4$		
10	$V_{10} + B_{10} = X_7 - X_6$		

Dari persamaan diatas, maka dapat dituliskan matrik dari persaaman umum:

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_9 \\ V_{10} \\ V_{11} \\ V_{12} \\ V_{13} \\ V_{14} \\ V_{15} \\ V_{16} \\ V_{17} \\ V_{18} \\ V_{19} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \\ X_7 \\ X_8 \\ X_9 \\ X_{10} \\ X_{11} \\ X_{12} \\ X_{13} \\ X_{14} \\ X_{15} \\ X_{16} \\ X_{17} \\ X_{18} \\ X_{19} \end{pmatrix}$$

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

LAMPIRAN II

PERHITUNGAN CONFUSION MATRIX TAHUN 2003 DAN 2014

Perhitungan Confusion Matrix Tahun 2014

Verall Accuracy = $(19874/22029) = 90.2174\%$

Kappa Coefficient = 0.8663

Class	Sawah	Kebun	Hutan	Ladang	Badan Air	Awan	Pemukiman	Empang	Tanah Kosong	Total	Omisi
Sawah	2091	5	15	20	14	84	1	11	32	2273	609
Kebun	17	62	18	3	0	1	0	0	64	165	12
Hutan	348	6	219	4	0	3	1	0	1	582	36
Ladang	86	1	0	2677	2	14	272	0	81	3133	434
Badan Air	26	0	0	0	228	0	0	0	0	254	16
Awan	0	0	2	13	0	8876	3	0	124	9018	182
Pemukiman	59	0	1	79	0	80	343	0	71	633	482
Empang	71	0	0	0	0	0	0	187	0	258	11
Tanah Kosong	2	0	0	315	0	0	205	0	5191	5713	373
Total	2700	74	255	3111	244	9058	825	198	5564	22029	2155
Komisi	182	103	363	456	26	142	290	71	522	2155	





Perhitungan Confusion Matrix Tahun 2003

Overall Accuracy = $(12732/14029) = 90.7549\%$





Kappa Coefficient = 0.8761

Class	Empang	Sawah	Awan	Ladang	Hutan	Kebun	Badan Air	Tanah Kosong	Pemukiman	Total	Omisi
Empang	511	16	0	0	0	0	5	0	0	532	16
Sawah	13	2091	1	9	92	2	87	22	2	2319	173
Awan	0	0	531	1	0	0	0	1	4	537	2
Ladang	0	5	0	650	40	0	8	337	21	1061	142
Hutan	0	123	0	20	1179	2	0	7	0	1331	141
Kebun	0	2	0	0	9	241	1	0	0	253	4
Badan Air	3	0	0	0	0	0	1523	0	0	1526	105
Tanah Kosong	0	6	0	81	0	0	0	5848	84	6019	603
Pemukiman	0	21	1	31	0	0	4	236	158	451	111
Total	527	2264	533	792	1320	245	1628	6451	269	14029	1297
Komisi	21	228	6	411	152	12	3	171	293	1297	

LAMPIRAN III
Hasil *Ground Truth*

No	Posisi		Jenis Tutupan Lahan	Foto	
	X	Y			
1	687667	9162810	Ladang		
2	9161801 9161801	9161801	Hutan		
3	68661	9156796	Sawah		
4	689958	9152611	Sawah		

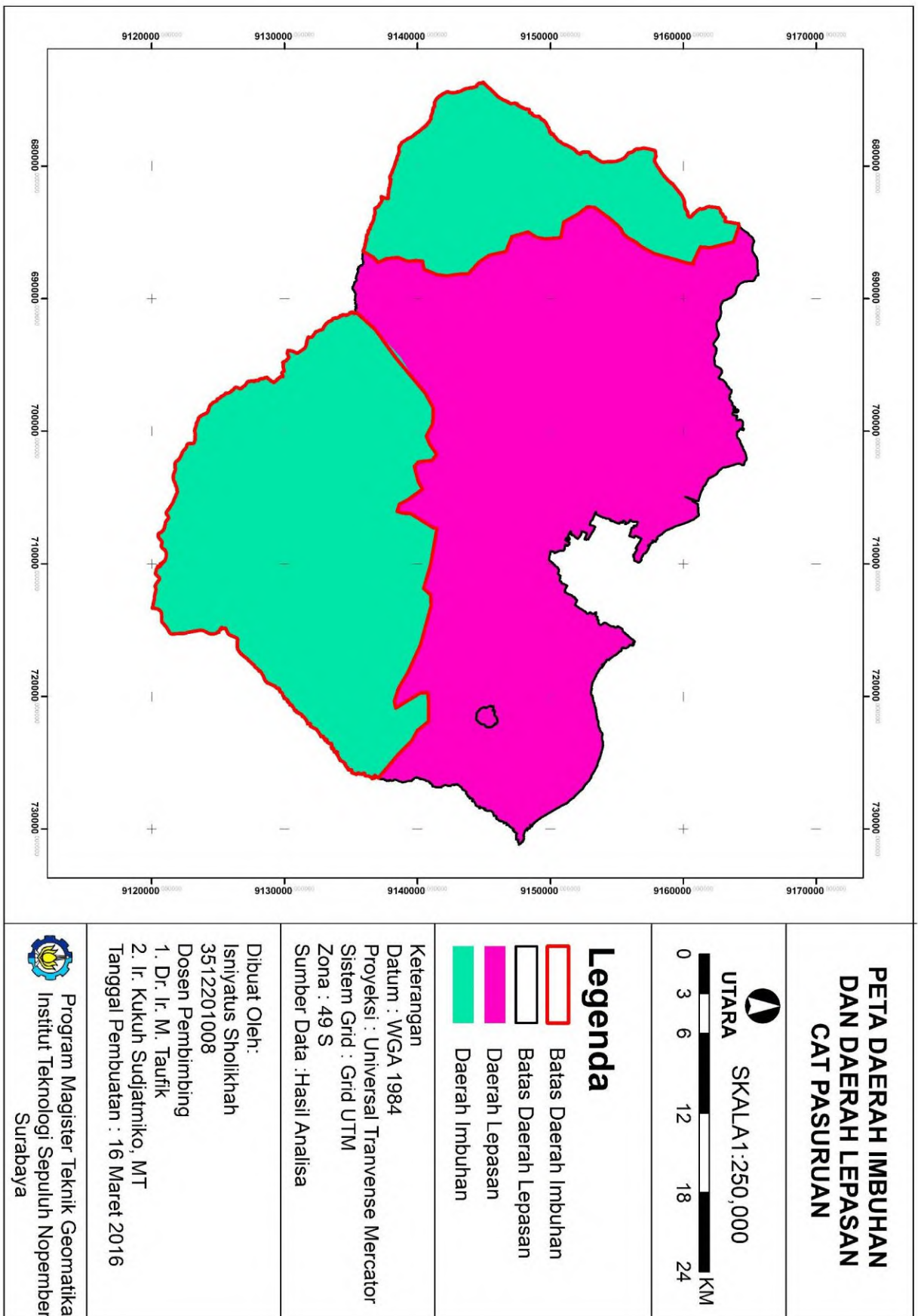
5	685157	9148187	Ladang	
6	684722	9148241	Ladang Tebu	
7	682833	9144866	Hutan	
8	687455	9145794	Sawah	
9	694278	9143451	Kebun Jagung	

10	694278	9140912	Hutan	
11	695045	9143483	Hutan	
12	694278	9140912	Hutan	
13	696911	9138947	Sungai	

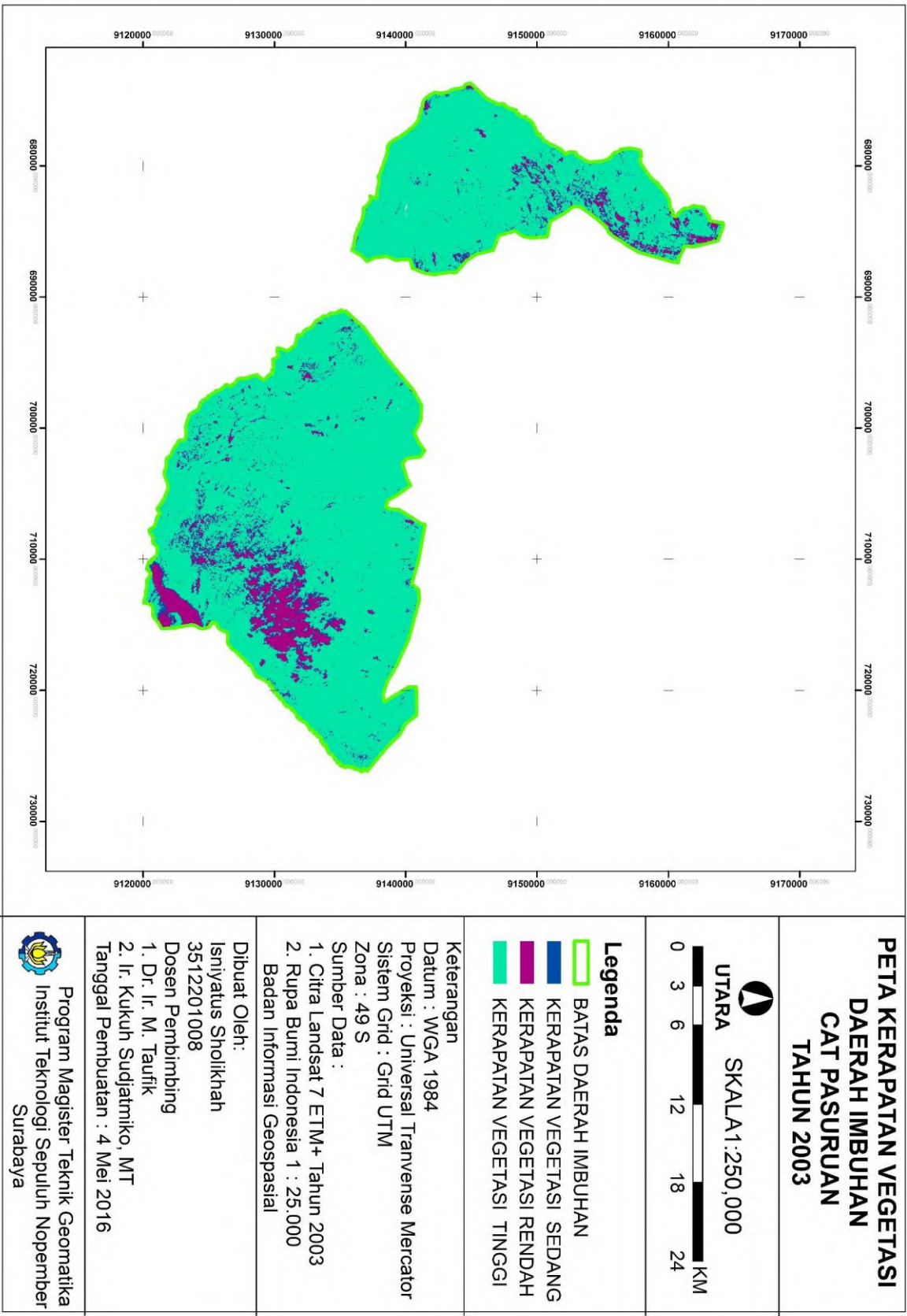
14	699048	9135656	Sawah	
15	695996	9140078	Pemukiman	
16	698446	9143318	Pemukiman	
17	702875	9148461	Sawah	

19	707681	9149915	Ladang	
20	715109	9150945	Pemukiman	
21	720745	9147395	Ladang	
22	713518	915217	Pemukiman	

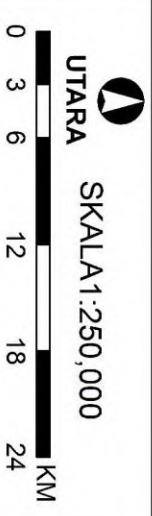
LAMPIRAN IV



LAMPIRAN V



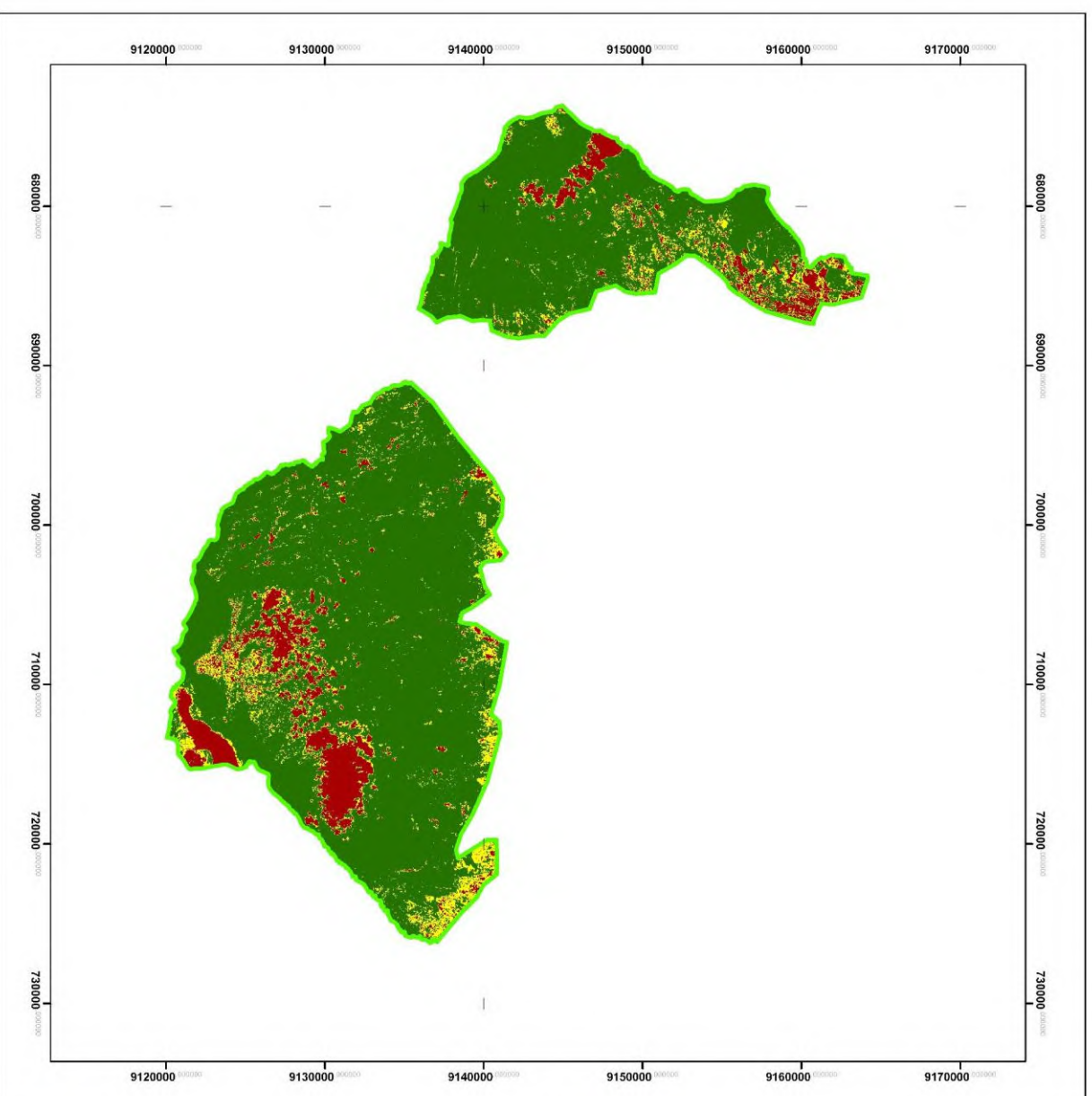
PETA KERAPATAN VEGETASI CAT PASURUAN TAHUN 2014



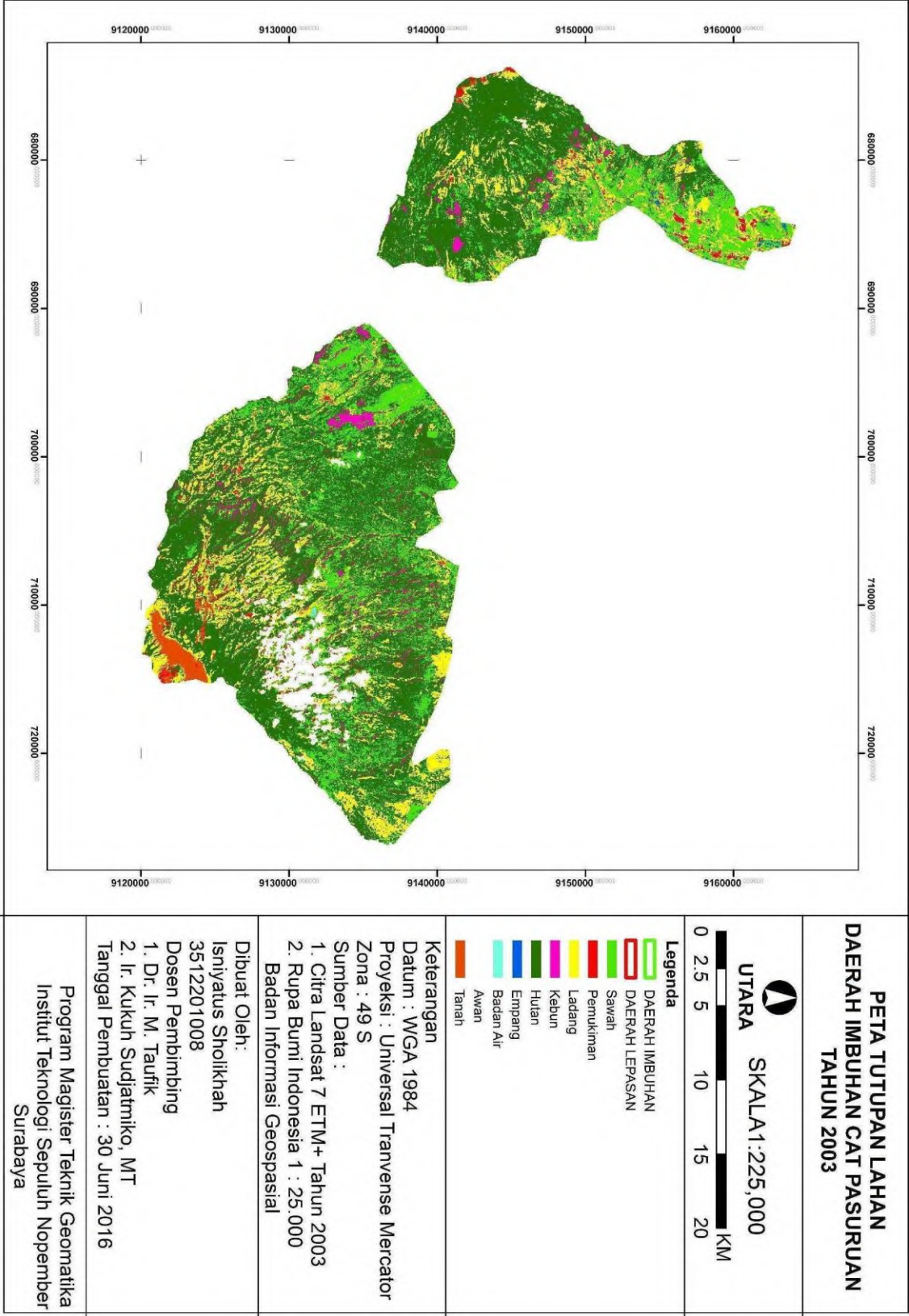
- Legenda**
- BATAS DAERAH IMBUHAN**
 - KERAPATAN VEGETASI TINGGI**
 - KERAPATAN VEGETASI SEDANG**
 - KERAPATAN VEGETASI RENDAH**

Keterangan
 Datum : WGA 1984
 Proyeksi : Universal Transverse Mercator
 Sistem Grid : Grid UTM
 Zona : 49 S
 Sumber Data :
 1. Citra Landsat 8 Tahun 2014
 2. Rupa Bumi Indonesia 1 : 25.000
 Badan Informasi Geospasial

Dibuat Oleh:
 Isniyatus Sholikhah
 3512201008
 Dosen Pembimbing
 1. Dr. Ir. M. Taufik
 2. Ir. Kukuh Sudjatmiko, MT
 Tanggal Pembuatan : 4 Mei 2016



LAMPIRAN VI



PETA TUTUPAN LAHAN DAERAH IMBUHAN CAT PASURUAN TAHUN 2014

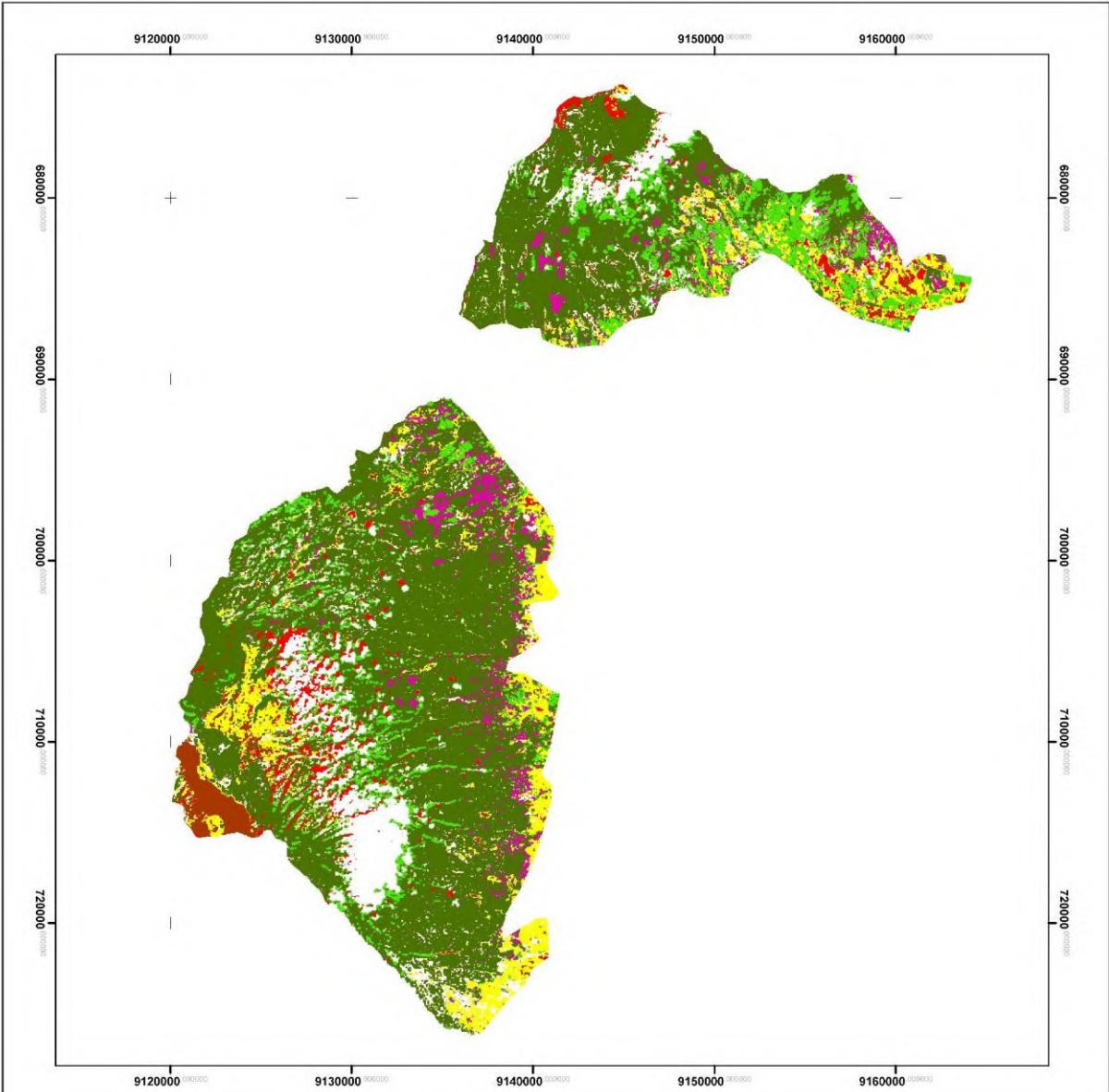


- Legenda**
- awan
 - badan air-shp
 - empang-shp
 - hutan-shp
 - kebun-shp
 - ladang-shp
 - pemukiman-shp
 - sawah-shp
 - tanah kosong-shp

Keterangan
 Datum : WGA 1984
 Proyeksi : Universal Transverse Mercator
 Zona : 49 S
 Sumber Data :
 1. Citra Landsat 8 Tahun 2014
 2. Rupa Bumi Indonesia 1 : 25.000
 Badan Informasi Geospasial

Dibuat Oleh:
 Isniyatus Sholikhah
 3512201008
 Dosen Pembimbing
 1. Dr. Ir. M. Taufik
 2. Ir. Kukuh Sudjatmiko, MT
 Tanggal Pembuatan : 30 Juni 2016

Program Magister Teknik Geomatika
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Analisa penentuan daerah imbuhan menghasilkan daerah imbuhan dan lepasan CAT Pasuruan, yang terbagi menjadi 3 (Tiga) zona, yakni daerah imbuhan utama, daerah imbuhan tambahan, dan daerah imbuhan tidak berarti atau daerah lepasan. Selain itu hasil validasi peta imbuhan hasil pengolahan dengan Peta Cekungan Air Tanah (KEPMEN ESDM No. 716.K/40/MEM2003) sebesar 84,23 %, yang artinya peta penentuan daerah imbuhan memenuhi syarat sebagai keakurasian, dan 3 (tiga) parameter penentuan daerah imbuhan yakni kemiringan lahan, litologi dan curah hujan cukup dapat mewakili sebagai parameter penentuan daerah imbuhan.
2. Dari hasil kerapatan vegetasi pada tahun 2003, daerah imbuhan memiliki kerapatan vegetasi rapat terluas yakni 60967,17 Ha, kerapatan vegetasi sedang yakni 3885,66 Ha, dan kerapatan vegetasi jarang yakni 4436,44 Ha sedangkan pada daerah lepasan dengan kerapatan vegetasi rapat yakni 57299,66 Ha, kerapatan vegetasi sedang yakni 9755,91Ha, dan kerapatan vegetasi jarang yakni 12283,56 Ha.
3. Dari hasil kerapatan vegetasia pada tahun 2014, daerah lepasan memiliki kerapatan vegetasi rapat terluas yakni 56636,28Ha, kerapatan vegetasi sedang yakni 6254,370 Ha, dan kerapatan vegetasi jarang yakni 6404,760 Ha. sedangkan pada daerah lepasan dengan kerapatan vegetasi rapat yakni 36848,78 Ha, kerapatan vegetasi sedang yakni 22399,65Ha, dan kerapatan vegetasi jarang yakni 20083,23 Ha.

4. Kerapatan vegetasi pada daerah imbuhan tahun 2003-2014, dalam kurun waktu 11 tahun, kerapatan vegetasi rapat mengalami penurunan sebesar 4330,89 Ha, kerapatan vegetasi sedang mengalami peningkatan sebesar 2368,71 Ha, dan kerapatan vegetasi jarang mengalami peningkatan sebesar 1968,12Ha.
5. Untuk kerapatan vegetasi yang mempengaruhi terhadap konservasi daerah imbuhan yang paling utama yaitu kerapatan tinggi, sehingga untuk memprediksi kondisi perubahan kerapatan vegetasi rapat ke depan dapat menggunakan persamaan regresi linier $y = -4330.x + 65298$, sehingga perubahan kerapatan vegetasi rapat pada tahun 2025 diprediksikan menjadi 52305,39 Ha dan tahun 2030 menjadi 52176,78 Ha. Degradasi penurunan kerapatan vegetasi rapat akan terus berlangsung tidak ada langkah untuk melakukan upaya konservasi hutan.
6. Perubahan tutupan lahan di daerah imbuhan pada tahun 2003 terbesar terdapat pada tutupan lahan hutan yakni 37563,48 Ha, sawah sebesar 13551,12 Ha, dan ladang sebesar 10607,04 Ha.
7. Perubahan tutupan lahan di daerah imbuhan pada tahun 2014 terbesar terdapat pada tutupan lahan hutan yakni 38133,36 Ha, sawah sebesar 8643,87 Ha, dan ladang sebesar 6503,13 Ha.
8. Perubahan tutupan lahan dari 2003-2014 menghasilkan perubahan tutupan lahan hutan mengalami peningkatan sebesar 569,88 Ha. Untuk memprediksi perubahan tutupan lahan hutan ke depan dapat menggunakan persamaan regresi linier $y = 569,8 x + 36994$, sehingga perubahan tutupan lahan hutan pada tahun 2025 diprediksikan menjadi 37563,88 Ha dan tahun 2030 menjadi 38720,494 Ha. Peningkatan tutupan lahan hutan ini apabila terus dijaga maka dapat menjaga konservasi air tanah di daerah imbuhan.
9. Hubungan perubahan tutupan lahan dan kerapatan vegetasi di daerah imbuhan pada tahun 2003, untuk kerapatan vegetasi tinggi yang terbesar terdapat pada tutupan lahan hutan sebesar 60,67% atau 36986,67 Ha. Sedangkan pada kerapatan vegetasi sedang yang

terbesar terdapat pada tutupan lahan ladang dengan presentasi 45%, atau 1785,60 Ha, dan kerapatan vegetasi rendah terbesar terdapat pada tutupan lahan awan dan pemukiman sebesar 19,62 atau 870,57 Ha. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan di daerah imbuhan sudah sesuai dengan fungsinya yakni sebagai kawasan konservasi, yang mana ditunjukkan dengan luasan yang tertinggi yakni tutupan lahan hutan pada kerapatan tinggi.

10. Hubungan perubahan tutupan lahan dan kerapatan vegetasi di daerah imbuhan pada tahun 2014, kerapatan vegetasi yang terbesar terdapat pada tutupan lahan hutan sebesar 55,04% atau 37929,69 Ha dari total seluruh daerah vegetasi tinggi. Sedangkan pada kerapatan vegetasi sedang yang terbesar terdapat pada tutupan lahan awan dan ladang dengan presentasi 51,15 % atau 3198,51 Ha, dan kerapatan vegetasi rendah terbesar terdapat pada tutupan lahan awan dan tanah kosong sebesar 1128,06 Ha atau 17,61%. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan di daerah imbuhan tahun 2014 sudah sesuai dengan fungsinya yakni sebagai kawasan konservasi.
11. Hubungan kerapatan vegetasi dan tutupan lahan pada daerah imbuhan dari tahun 2003-2014 didapat kerapatan vegetasi rapat yang mengalami kenaikan luas, yaitu pada tutupan lahan Kebun sebesar 1144,80 Ha, hutan sebesar 943,02 Ha, tutupan lahan pemukiman sebesar 947,79 Ha dan Tanah kosong sebesar 262,53 Ha, Dan mengalami peningkatan dengan kerapatan vegetasi rendah yaitu ladang sebesar 943,02 Ha, tanah kosong sebesar 277,47 Ha, dan awan. Vegetasi tutupan lahan yang mendominasi di seluruh daerah imbuhan dengan vegetasi pohon mahoni, dan pohon sengon.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan yang diperoleh, peneliti dapat memberikan masukan untuk penelitian berikutnya :

- a. Perlu dilakukan pengukuran infiltrasi ke lapangan pada setiap tutupan lahan untuk menunjang hasil penelitian.
- b. Pengambilan data (akuisisi citra dan data lapangan) hendaknya lebih banyak agar memberikan hasil penelitian yang lebih akurat.
- c. Perlu adanya tindak lanjut dari instansi yang terkait, sebagai bahan masukan dan pertimbangan penyusunan kebijakan terkait dengan pemanfaatan, pengembangan dan konservasi wilayah yang berdampak pada air tanah

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., dkk. 2002. *Survei Dengan GPS. Pradnya Paramitha*. Jakarta
- Abdurrahman, R.S. 1990. *Studi Hidrologi Mataair di Kabupaten Kuningan*. Jawa Barat. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta.
- Asy'Ari, Imam. 2005. *Evaluasi Kondisi Pemanfaatan Airtanah Di Kabupaten Pasuruan*. ITS-Surabaya.
- Asdak, C, 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Badan Geologi. *Panduan Teknis Pengelolaan Air Tanah*. 2007. Bandung
- Bowles, J.E. 1986. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta : Erlangga.
- Danaryanto et al. 2005. *Air Tanah di Indonesia Dan Pengelolaannya*. Ditjen Geologi Dan Sumber Daya Mineral. Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Departemen Kehutanan. 2009. *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia nomor: P.32/MENHUT-II/2009*. Jakarta.
- Dinas ESDM. 2008. *Identifikasi Pengolahan Dan Pemanfaatan Air Bawah Tanah Di Kabupaten Pasuruan*. Jawa Timur. Surabaya
- Dirgahayu, D., Sitanggang, G., Carolita, I., Arifin, S., dan Surlan, 1997. *Penggunaan data radar dan optik untuk memprediksi kelengasan lahan (Studi kasus pada areal tanaman tebu), Proyek Perencanaan dan Peningkatan Ketatalaksanaan*. Jakarta: Lapan.
- Prahasta, Edi. 2002. *Konsep-Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Informatika Bandung.
- Ginting, Edina E BR. 2004. *Pemantauan Liputan Vegetasi Menggunakan Citra Satelit NOAA-AVHRR (Studi Kasus P.jawa dan Madura)*. Tugas Akhir Fakultas Kehutanan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Gong, P., R. Pu, G.S. Biging and M.R. Larrieu, 2003. *Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived from Hyperion*

- Karnieli et al., 2009 *Hyperspectral Data*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, No 6.
- Handayani, S. 2009. *Panduan Praktikum dan Bahan Asistensi Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Herlambang, A., 1996. *Kualitas Airtanah Dangkal di Kabupaten Bekasi*, Tesis: Institut Pertanian Bogor.
- Jamulya dan Suratman Woro Suprojo, 1993. *Pengantar Geografi Tanah*. Yogyakarta: Diktat Kuliah, Fakultas Geografi, UGM.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R., Anderson, M., dan Goldberg, A. 2009. *Use of NDVI and Land Surface Temperature For Drought Assesment*, Journal of Climate, Vol.24, hal. 619
- Kodoatie, RJ. 1996. *Pengantar Hidrologi*. Andi Yogyakarta: Yogyakarta.
- Kodoatie, R.J., dan R. Sjarief. 2010. *Tata Ruang Air*. Yogyakarta: ANDI.
- Lillesand, T. M. dan Kiefer, R. W. (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th ed. , Wiley & Sons, New York
- Krussman, G.P. and Ridder, N.A. 1970. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
- Kusworo, 1998. *Estimasi Agihan Salinitas Tanah Dalam Kaitannya Dengan Kelembaban Tanah Permukaan Pada Data Digital Landsat TM Multispektral Daerah Dataran Aluvial Pantai Brebes Jawa Tengah*. Skripsi. Fakultas Geografi, UGM, Yogyakarta
- Maria, Rizka, dkk. 2014. *Pengaruh Penggunaan Lahan Terhadap Fungsi Konservasi Air Tanah Di Sub Das Cikapundung*. LIPI : Riset Geologi dan Pertambangan.
- Murtono, Teggu, dkk. 2013. *Zonasi Imbuhan Air Tanah Pada Daerah Aliran Sungai Lahumbuti Provinsi Sulawesi Tenggara*. Universitas Hasanudin : Geosains.
- Nashrullah, S. Darmawan, S. Hadi, F. Budi Harto, A. Wikantika, K., 2008. *Analisis Kelembaban Tanah Dengan Landsat ETM+ Menggunakan Metode TVDI*. Bandung: PIT MAPIN XVII.
- Noor, Djauhari. 2011. *Geologi Untuk Perencanaan*. Graha Ilmu: Yogyakarta.

- Purwadhi, F. 2001. *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta : Grasindo.
- Republik Indonesia. 2000. *Keputusan Menteri ESDM Nomor:1451 K/10/MEM/2000 Tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Tugas Pemerintahan Di Bidang Pengelolaan Air Bawah Tanah*. Jakarta.
- Republik Indonesia. 2003. *Keputusan Menteri ESDM Nomor : 716 K/40/MEM/2003 Tentang Batas Horisontal Cekungan Air Tanah Di Pulau Jawa Dan Pulau Madura*. Jakarta.
- Republik Indonesia. 2004. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air*. Jakarta.
- Republik Indonesia. 2008. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 4 Pasal 8 Tentang Air Tanah*. Jakarta.
- Republik Indonesia. 2009. *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor : 13 Tentang Pedoman Penyusunan Rancangan Penetapan Cekungan Air Tanah*. Jakarta.
- Ujiarto, A. N., 2001. *Penerapan Model Indeks Konservasi Air dalam Rangka Pengendalian Pemanfaatan Ruang Kawasan Bapojur*. Teknik Lingkungan. ITB.
- Seyhan, Ersin. 1977. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Sutanto. 1994. *Penginderaan Jauh Jilid 2*. Gadjah Mada University Press. P.O.Box 14 Bulaksumur, Yogyakarta.
- Swain, P. H. Dan Davis, S. M., 1978, *Quantitative Approach of Remote Sensing*. Washington: McGraw-Hill
- Trochim, William M.K. (2006). *Research Methods Knowledge Based*. Cornell University, New York, United Stated.
- USGS. 20013. Using the USGS Landsat 8 Product. History : http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php. diakses pada tanggal 13 Desember 2015.
- Wedehanto, Sony (2006). *Pengembangan Citra Landsat 7 ETM Untuk Menduga Keberadaan Air Tanah*. FTSP - ITS

- Wibowo, Mardi. 2006. *Model Penentuan Kawasan Resapan Air Untuk Perencanaan Tata Ruang Berwawasan Lingkungan*. Jakarta : Badan Pengkaji dan Penerapan Teknologi.
- Wilson, EM. 1993. *Hidrologi Teknik*. ITB : Bandung.
- Walker, J.P and ,R.H. Paul.2002. *Evaluation of the Ohmmapper instrument for soil measurement*. Soil Science Society of America . Journal, Vol 66.
- Wolf, Paul R.(1993). *Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Zuidam, R.A. Van., 1985. *Aerial Photo-Interpretation Terrain Analysis and Geomorphology Mapping*. Smith Publisher The Hague, ITC

BIODATA PENULIS



Isniyatus Sholikhah, dilahirkan di Lamongan pada tanggal 17 Januari 1991, yang merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya antara lain di MI Islamiyah Began Lamongan, SMPN 2 Deket Lamongan, SMAN 1 Karangbinangun Lamongan. Selepas tamat SMA tahun 2008, penulis memilih melanjutkan kuliah S-1 dengan mengikuti program SMPTN dan diterima di Teknik Geomatika FTSP-ITS tahun 2008 dan terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 3508100033.

Selama di bangku kuliah, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE-ITS) dan Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Geomatika FTSP-ITS. Penulis juga aktif mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD, LKMM TD serta aktif dalam kegiatan kemahasiswaan Teater Tiyang Alit pada Tahun 2008/2009. Selain itu penulis juga telah menempuh kerja praktek di Dinas Energi Dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Timur pada Tahun 2011.

Untuk menyelesaikan studi S-1, penulis mengambil Tugas Akhir di bidang keahlian Geomatika dengan judul “Evaluasi Kesesuaian Lahan Untuk Kawasan Pergudangan Di Wilayah Surabaya Barat Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)”.

Seusai mendapat gelar Sarjana, penulis mendapat beasiswa S-2 Fresh Graduate di Jurusan dan Kampus yang sama. Dan mengambil tesis bidang Geomatika dengan Judul “Studi Tentang Daerah Imbuhan Di Cekungan Air Tanah Dengan Metode Penginderaan Jauh Menggunakan Citra Satelit Landsat Dan Sistem Informasi Geografis (SIG) (Studi Kasus : Kabupaten Pasuruan)”. Saat ini penulis aktif sebagai Pegawai Negeri Sipil di Dinas Energi Dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Timur dengan jabatan sebagai Analis Topografi.